

R- 51.465

T
159. 253.1
RUA

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE SOCIOLOGÍA IV

AUTO-ORGANIZACIÓN:

***Transdisciplinariedad científica y emplazamiento sociológico
de una noción de segundo orden***

JUAN DE DIOS RUANO GÓMEZ



Director de la tesis doctoral:

Pr. Dr. D. CARLOS MOYA VALGAÑÓN

Catedrático de Sociología

1994

A Jesús Ibáñez

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.	V
<u>Capítulo I:</u> INTRODUCCIÓN.	2
1. Transdisciplinariedad científica del concepto de auto-organización.	8
2. Emplazamiento sociológico de una noción de segundo orden.	16
 PRIMERA PARTE.	
LA AUTO-ORGANIZACIÓN EN LAS CIENCIAS DE LA MATERIA: ILYA PRIGOGINE Y LAS ESTRUCTURAS DISIPATIVAS.	28
 <u>Capítulo II:</u> LA TERMODINÁMICA COMO PRIMERA CIENCIA DE LA COMPLEJIDAD.	32
1. Los límites de la ciencia clásica.	37
2. El segundo principio de la termodinámica y su mensaje: Apertura temporal y aumento de la complejidad.	47
 <u>Capítulo III:</u> LA FLECHA DEL TIEMPO: LA DIFERENCIA ENTRE PASADO Y FUTURO.	60
1. El no-equilibrio como revelador de la flecha del tiempo.	66
2. La irreversibilidad como condición misma del conocimiento.	75
 <u>Capítulo IV:</u> UN PROCESO DE AUTO-ORGANIZACIÓN DENOMINADO ESTRUCTURA DISIPATIVA: EL ORDEN POR FLUCTUACIONES.	87
1. Condiciones para la existencia de nuevas estructuras: Irreversibilidad, probabilidad y coherencia.	92
2. La amplificación de fluctuaciones como mecanismo de aparición de nuevas estructuras.	102

<u>Capítulo V:</u> HACIA UNA TEORÍA DE LA DIVERSIDAD CUALITATIVA.	113
1. Resonancia y finitud: Dos obstáculos para el determinismo.	119
2. De la noción de atractor como símbolo de homogeneidad a la noción de atractor como símbolo de diversidad.	130

SEGUNDA PARTE.

LA AUTO-ORGANIZACIÓN EN LAS CIENCIAS DE LO VIVO: HENRI ATLAN Y LA COMPLEJIDAD A TRAVÉS DEL RUIDO.	139
--	------------

<u>Capítulo VI:</u> EL ORIGEN DE LA VIDA: LA BÚSQUEDA DE UNA LÓGICA DE LO IMPROBABLE.	143
1. Información y probabilidad.	151
2. Indeterminación y complejidad.	159

<u>Capítulo VII:</u> DEL RUIDO COMO PRINCIPIO DE AUTO-ORGANIZACIÓN.	170
1. El proceso de complejización: Disminución de la redundancia inicial y aumento de la variedad.	178
2. El proceso de auto-organización: Creación y estabilización de la novedad.	188

<u>Capítulo VIII:</u> NIVEL DE OBSERVACIÓN Y EFECTOS DEL RUIDO.	198
1. Nivel de observación y concepto de crisis: La producción de ruido a partir de la información.	206
2. Interpretación y delirio: La producción de sentido mediante la auto-organización.	212

TERCERA PARTE.

UNA APROXIMACIÓN AL PROCESO DE AUTO-ORGANIZACIÓN SOCIAL EN LA PERSPECTIVA DEL PÁNICO COLECTIVO.	220
--	------------

<u>Capítulo IX:</u> LA IMPLOSIÓN DEL PÁNICO EN LA FIGURA DE LA CRISIS.	224
---	------------

1. La masa como analizador molar de la crisis.	233
--	-----

Capítulo X: LA EXPLOSIÓN DEL PÁNICO EN LA FIGURA DE LA CATÁSTROFE.

245

1. La muta como analizador molecular de la catástrofe.	252
--	-----

CONCLUSIONES.	261
---------------	-----

BIBLIOGRAFÍA.	268
---------------	-----

AGRADECIMIENTOS

Deseo reconocer y dar las gracias a cuantos me honraron con la confianza, el apoyo y el estímulo que me hicieron posible gozar de la libertad, la comprensión y el favor necesarios para la realización de la presente tesis doctoral.

En particular a Jesús Ibáñez, primer director de esta tesis, quien me convirtió en un sujeto capaz de sobrevivir a las catástrofes.

A Michel Maffesoli, Director del Centre d'Études sur l'Actuel et le Quotidien de la Sorbona de París. A Francisco Varela, Catedrático de Ciencias Cognitivas en la Escuela Politécnica de París. A Jean-Pierre Dupuy, Director del Centre de Recherche en Épistémologie Appliquée -unidad del C.N.R.S.- de París. A Modesto Escobar, Profesor en el Centro de Estudios Avanzados en Ciencias Sociales de la Fundación Juan March.

A mis colegas Andrés García, del Centro Europeo de Investigación en técnicas de información a la población en Situaciones de Emergencia del Mº de Justicia e Interior, y Jesús Montero, del Gabinete Técnico del Rector de la Universidad Complutense.

A mis compañeros del Departamento de Sociología IV: Andrés, Benjamín, Fátima, Fernando, Javier, Manuel, Paco... que me han ayudado cuanto han podido y a veces aún más.

Finalmente a quienes emocionalmente más han confiado en este proyecto, a Carlos Moya y Ana G. Veiga sin cuyo constante apoyo, calor humano y generosidad intelectual este trabajo no habría visto la luz.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Comentaba Francisco Varela¹ en una entrevista a propósito de las teorías sobre la evolución en los seres vivos que entendía que podían explicarse como un juego del que había dos tipos: "*En el primero se dice: esto no está permitido, en cuanto al resto de las cosas, nada importa. En el otro tipo de juegos se dice: debes hacer esto y todo lo demás está prohibido.*" (Varela, 1984b: 14). Pues bien, tal vez sea bueno comenzar diciendo que este trabajo ha sido realizado en la perspectiva del primer juego, el cual se desarrolla siguiendo los usos del paradigma de la complejidad. De este paradigma se ha llegado a decir incluso que es algo más democrático que otros². Lo cierto es que este hecho por sí solo es suficiente para no dejar pasar la ocasión de agradecer a quienes me han permitido trabajar en ese

¹ Francisco Varela es doctor en biología por la Universidad de Harvard, nacido en Chile, es actualmente Catedrático de Ciencias Cognitivas en la Escuela Politécnica de París donde lleva a cabo sus trabajos en neurobiología, biología teórica y epistemología. Es conocido en sociología por haber desarrollado junto a Humberto Maturana la teoría de la *autopoiesis* que ha sido empleada en el ámbito de las ciencias sociales por el sociólogo alemán Niklas Luhmann.

² Decía Ibáñez en este sentido que: "*El paradigma de simplificación postula la dictadura (todo está prohibido, menos lo que es obligatorio: sólo hay dictados e interdicciones), el paradigma de la complejidad postula la democracia.*" (Ibáñez, 1990: 8).

modelo, la confianza y generosidad intelectual que me han mostrado particularmente quienes han sido directores de esta tesis, Jesús Ibáñez y posteriormente Carlos Moya.

Dicho lo cual conviene indicar que la presente investigación se inscribe dentro de lo que Ibáñez designaba como pensamiento social de *segundo orden*. Denominación que atribuyó no porque se tratase de una reflexión de inferior categoría o altura de miras sino, sencillamente, porque se sobreponía a la cibernética clásica, también conocida como cibernética de los sistemas observados. Y es que, en el origen de la adscripción de Ibáñez a estos términos, se encuentra la llamada segunda cibernética o cibernética de los sistemas observadores, que pone el acento, no sólo en el proceso de observación sino, muy particularmente, en la condición de observador que tienen algunos objetos de investigación científica, especialmente, los sistemas vivos y sociales³.

El acercamiento que realiza Ibáñez a este conjunto de reflexiones cibernéticas, en modo alguno debe ser interpretado como un alejamiento o enfriamiento de su pensamiento en torno al sujeto social y a su preocupación por los modos y maneras de abordarlo⁴. Por el contrario, de acuerdo con el paradigma complejo de investigación social que él mismo desarrolló, existía una perspectiva, la dialéctica, que no había alcanzado en su obra el mismo grado de madurez que las dos restantes: la perspectiva distributiva, cuyo modelo técnico se reflejaba en la encuesta y la perspectiva estructural, que tenía su equivalente aportación en el grupo de discusión.

³ A este respecto puede verse el artículo de Heinz von Foerster "Notes pour une épistémologie des objects vivants", incluido en Morin y Piatelli-Palmarini, 1974b: 139-155. Extractos de este interesante artículo pueden igualmente consultarse en castellano en Ibáñez, 1990: 85-89.

⁴ En este sentido, creemos que no se ha destacado suficientemente el carácter y origen transdisciplinar en el que se produjeron las primeras ideas de esta ciencia, fruto de las reuniones mensuales que mantenían un joven plantel de científicos para discutir diversas cuestiones metodológicas. Cf. Wiener, 1985: 23.

Pues bien, es el propio Ibáñez quien al presentarnos la selección de textos que se incluyen en *Nuevos avances en la investigación social: La investigación social de segundo orden*, no sólo reconoce ante dos de sus críticos una falta en su propio paradigma de investigación social, sino que aprovecha la ocasión que le ofrece la crítica para lanzar simultáneamente un reto. Así es como asume "...una carencia: el no haber construido lo que llamaba *"perspectiva dialéctica"*. *Tenían toda la razón. No la he construido, pero aquí apporto materiales para construirla. A ver quien se anima.*" (Ibáñez, 1990: 22). Persuadidos en este mismo ánimo es como cabe leer el presente estudio. Ello no obstante, a pocos será necesario participar que de lo que aquí se trata es de dar un paso en la dirección anteriormente manifestada en la cita. En absoluto puede pretenderse -ni ha sido propósito del autor- colmar las justas aspiraciones de cuantos desean ver completada la labor de quien dedicó toda una vida a la investigación sociológica.

Con todo, somos conscientes y partícipes de que: *"Toda formulación teórica sin una fuerte base empírica tiende a verse con sospecha, lo que, según muchos científicos sociales, ha tendido a empobrecer la imaginación científico-social."* (Pujadas, 1992: 9). Pero no es menos cierto, como acabamos de ver, que sin el reconocimiento de las carencias de nuestro instrumental metodológico, analítico y técnico se hace indefectiblemente más complicada la aceptación de algunos desafíos que, desde hace años, son difícilmente encajables y abordables desde los más clásicos métodos de la investigación social. El problema de la permanencia y el cambio en la sociedad, así como los comportamientos colectivos en situaciones de inestabilidad social y/o política continúan constituyendo excelentes ejemplos en este sentido.

Por lo demás, tendremos ocasión de examinar algunas de las teorías que, tanto en el campo de las ciencias de la materia como en el de las ciencias de lo vivo, están suponiendo un revulsivo en la posición metodológica

y epistemológica que tradicionalmente se asignaba a las ciencias de lo social. Ahora, lejos de constituirse las ciencias sociales en un espejo metodológico en el que pueden reflejarse las ciencias de la naturaleza, más bien son estas últimas las que muestran una cierta resonancia con las aproximaciones que, a lo largo de su historia, han recorrido las sucesivas y diversas perspectivas de investigación social. Sin embargo, nadie debe buscar en este hecho predominio o privilegio de unas ciencias sobre otras; menos aún lo haremos nosotros pues somos de los que cada vez más convencidos estamos de que: "*La ciencia es un proyecto de sincronización simbólica.*" (Ibáñez, 1990: 184).

Así es como se explica que la *transdisciplinariedad* que caracteriza a este trabajo no sólo sea una peculiaridad del problema que hemos decidido adoptar como materia de estudio -la auto-organización- sino que se trate, fundamentalmente, de una manera de abordar la investigación básica. Es decir, la transdisciplinariedad para nosotros se configura como uno de los supuestos que, a nuestro juicio, en mejores condiciones se encuentra de garantizar en lo esencial la necesaria ruptura epistemológica que, de modo específico en las ciencias sociales, debe realizarse contra la ilusión del saber inmediato⁵.

Ello no obstante, también es igualmente cierto que las teorías de la auto-organización tienen desde sus orígenes, allá por los años sesenta, una extraordinaria componente transdisciplinar que ha continuado en sucesivas décadas hasta nuestros días. En concreto, las referencias a esta temática provienen de los ámbitos más fronterizos en cada una de las disciplinas matrices, así ocurre con la termodinámica de los procesos irreversibles en el caso de la física, con la biofísica en el caso de la biología, o con la epistemología natural y experimental en el caso de la neurofisiología. Todo lo

⁵ Al respecto podemos recordar el ya clásico texto de Bourdieu, Chamboredon y Passeron, *El oficio de sociólogo*.

cual no hace sino reiterar una realidad en la concepción de los límites interdisciplinarios, que debiera hacernos reflexionar acerca del papel de encuentro e intercambio que poseen estos lugares, frente a una visión más difundida -probablemente de un modo desacertado- que los encuadra como espacios de separación y eventual enfrentamiento.

Ahora bien, aun cuando conservan el carácter transdisciplinar al que venimos haciendo referencia, las *teorías de la auto-organización* podrían adscribirse a dos paradigmas diferenciados⁶: el llamado del *orden a través del desorden* -también conocido como el de la complejidad a través del ruido- y el paradigma de la *clausura operacional* -igualmente denominado por otros como el de la autopoiesis-. Sendos programas de investigación cuentan con importantes científicos que respaldan unas y otras líneas de trabajo, entre quienes podemos citar en el paradigma del orden a través del desorden, a Heinz von Foerster⁷, Henri Atlan⁸ o Ilya Prigogine⁹; mientras que en el de la autopoiesis se encuentran Humberto Maturana¹⁰, Francisco Varela y en el ámbito de la sociología Niklas Luhmann.

⁶ Cf. Dupuy y Dumouchel, 1984: 48.

⁷ Heinz von Foerster nació en Viena, donde estudió física. En 1949 recién llegado a los Estados Unidos fue designado secretario de las famosas conferencias que patrocinaba la Josiah Macy's Foundation, y en las que participaban Gregory Bateson, Margaret Mead, Norbert Wiener, Warren McCulloch, etc.. Desde la década de los cincuenta y hasta 1976 dirigió el Biological Computer Laboratory de la Universidad de Illinois. Puede considerarse como el padre de la segunda cibernética.

⁸ Henri Atlan nació en 1931, médico y biólogo, es profesor en las universidades de París y Jerusalén. Su campo de trabajo es la biología molecular y las teorías formales de la auto-organización, siendo el autor que ha desarrollado el principio de la complejidad a través del ruido.

⁹ Ilya Prigogine nació en Moscú en 1917. Estudió física y química en la Universidad Libre de Bruselas, donde es profesor. En 1977 recibió el Premio Nobel de Química por su contribución a la termodinámica del no-equilibrio y particularmente por el descubrimiento de las estructuras disipativas.

¹⁰ Humberto Maturana, nacido en Chile, es doctor en biología por la Universidad de Harvard. Es profesor en la Universidad de Chile donde desarrolla sus investigaciones en las materias propias de la biología del conocimiento.

En el caso de las teorías agrupables en torno al modelo del orden a través del desorden, la dualidad a la que hacemos referencia con la distinción de estos paradigmas, tiene su fundamento en el énfasis que éstas hacen en la capacidad que muestran determinados sistemas para producir nuevas formas, o más información, sobre la base de interacciones azarosas con su entorno, desarrollando el sistema en su conjunto una mayor complejidad. Por su parte, el segundo de nuestros paradigmas citados -el de la clausura operacional- concede prioridad en sus trabajos de investigación al estudio de las características que hacen que un sistema siga siendo el mismo a pesar de sus múltiples transformaciones.

Por nuestra parte, nos concentraremos en la presente tesis en el estudio de las consecuencias metodológicas, que las más potentes teorías de la auto-organización pertenecientes al paradigma del orden a través del desorden, presentan para el científico social. La razón de esta decisión tiene su origen en dos hechos. El primero de ellos se basa en la mayor atención y desarrollo que ha recibido el paradigma de la autopoiesis por parte de la sociología actual, particularmente a partir de Niklas Luhmann y su gran obra *Sistemas sociales*¹¹. El segundo hecho, por su parte, hace referencia al papel relativamente secundario que en el paradigma autopoietico recibe el proceso de auto-organización, frente a la importancia concedida a la noción de auto-referencia de la organización¹², lo que por otro lado resulta comprensible dado el interés que por la identidad de los sistemas plantean estas teorías.

¹¹ Aunque con diferentes valoraciones en cuanto a la teoría sociológica luhmanniana, puede verse en castellano a Navas, 1989 e Izuzquiza, 1990.

¹² Cf. Livet, 1985: 106.

I.1. TRANSDISCIPLINARIEDAD CIENTÍFICA DEL CONCEPTO DE AUTO-ORGANIZACIÓN.

Si tuviésemos que destacar una de las características más singulares que ofrecen aquellas investigaciones que se han realizado acerca del concepto de auto-organización, sin duda alguna, la primera de estas peculiaridades en reseñarse sería la de la *transdisciplinariedad*. Las relaciones entre las diferentes disciplinas constituyen una preocupación constante para cuantos han abordado esta temática¹³ y, lo que es más curioso, en todos los autores estudiados aparece como fundamental la relación entre disciplinas de lo inanimado y disciplinas de lo vivo. Desde el propio nombre que Heinz von Foerster otorga a su laboratorio fundado en 1958 el *Biological Computer Laboratory* de la Universidad de Illinois, hasta los trabajos del último centro creado en esta misma línea, el *Centre de Recherche en Épistémologie Appliquée* perteneciente a la Escuela Politécnica de París, todos han desarrollado una fructífera aproximación a sus estudios combinando distintas tradiciones teóricas¹⁴.

Las investigaciones sobre auto-organización podrían históricamente clasificarse en cinco etapas a juicio de Livet¹⁵: La fase cibernética clásica, que tuvo lugar en la década de los cuarenta; la etapa del *Biological Computer*

¹³ Tanto es así, que se ha llegado a escribir, que las motivaciones ideológicas de las distintas corrientes científicas que han tratado el problema de la auto-organización responden a tres dimensiones, de entre las cuales, dos están directamente vinculadas al carácter transdisciplinar al que aquí hacemos referencia. Así, Livet señala una primera dimensión horizontal articuladora de las diversas corrientes de la auto-organización que denomina propiamente con el nombre de *transdisciplinariedad*. Una segunda dimensión vertical constituida por toda una serie de *nociones-faro* o atractores que igualmente se encuentran incluidos en los desarrollos formales de la problemática de la auto-organización: reflexividad, autonomía, interacción, etc.. Y una tercera dimensión que debe conjugar la primera dimensión con la segunda con el fin de posibilitar la *transductibilidad* de los modelos que se generen en unos y otros campos del conocimiento. Cf. Livet, 1985: 126.

¹⁴ Cf. Stengers, 1985: 25.

¹⁵ Cf. Livet, 1985: 105.

Laboratory -en adelante *B.C.L.*- y del consiguiente desarrollo de la segunda cibernética, desde 1958 hasta 1976; una tercera fase que contempla dos ramas, la de la teoría de la información (Atlan) y la de la termodinámica de redes (Katchalsky), que cobran difusión en la década de los setenta; la fase de la termodinámica de los fenómenos irreversibles (Prigogine y la escuela de Bruselas), igualmente fechable en los setenta por lo que a su impacto se refiere; y finalmente, la que comienza en la década de los ochenta conocida con el nombre de *neconexionismo* porque en múltiples aspectos retoma los trabajos y reflexiones de Mc Culloch y Pitts en la construcción de redes y que son propios de la primera fase, la denominada como cibernética clásica.

Con todo, como afirma Stengers, que la noción de auto-organización sea interpretable en el contexto de un proyecto de reorganización de los campos científicos, no es óbice para restarle operatividad científica. Es decir, el hecho de que la noción a la que nos estamos refiriendo mantenga una mayor presencia en los distintos debates que orientan la actividad científica no va en detrimento de su pertinencia y adecuación a ciertos campos de fenómenos concretos. Como ya hemos visto, la cibernética tiene un origen que la hace singularmente proclive a la discusión metodológica y epistemológica de los conceptos que emplea, por lo que no se produce en ella lo que habitualmente ocurre en otras materias en las que las discusiones de este tipo -como ha señalado Kuhn- básicamente sólo tienen lugar en los períodos de crisis de paradigmas.

Es este carácter, como decimos, tan pronunciado en la cibernética que ha habido quien la ha calificado de mezcla de filosofía e ingeniería y, más concretamente, se han referido a ella con el apelativo de metafísica de la era nuclear. Por lo demás, es la propia Stengers quien recoge que: "*Wiener puede ser presentado a la vez como pensador de las relaciones entre ciencia, técnica y sociedad, y de la organización intelectual y social de la ciencia.*" (Stengers, 1985: 31). De hecho, es el propio von Foerster quien, al ser preguntado por

esta mezcla de filosofía e ingeniería con la que algunos científicos han descrito a la cibernética, rechaza la vertiente ingenieril de la cibernética para incidir, aún más si cabe, en la componente epistemológica de la misma¹⁶.

Pero, volviendo al esquema inicial, si nos preguntamos acerca de la génesis del concepto de auto-organización se hace preciso recoger el testimonio de von Foerster cuando al ser entrevistado por Jean-Pierre Dupuy afirma que el primer usuario del concepto que nos ocupa, en su tradición cibernética, es el propio Gordon Pask¹⁷. Al parecer Pask lo hizo en un contexto en el que de lo que se trataba era de diseñar una concepción más abierta de la educación. Para abordar este proyecto se planteaba como prioritaria la necesidad de diferenciar el aprendizaje de la mera adaptación. En esa entrevista, von Foerster indica que Pask empleaba este término para referirse al problema de la interacción entre enseñante y enseñado. *"Él pensaba que el enseñado era también enseñante. Pues el enseñante debe aprender las idiosincrasias del estudiante en lo que concierne a las estrategias de aprendizaje. La interacción debía organizar un sistema inicialmente desorganizado."*¹⁸ (VV.AA., 1985: 273).

La auto-organización en la cibernética ha supuesto, no obstante, algo

¹⁶ En una entrevista, Jean-Pierre Dupuy haciendo de "abogado del diablo" apunta el hecho de que tal vez la mala fama de la cibernética se deba a esa extraña mezcla de filosofía e ingeniería, a lo que von Foerster responde: *"Yo rechazo la ingeniería. Ningún ingeniero participaba. Todos cuantos estaban agrupados bajo el nombre vago de "cibernética" eran conscientes, a diferencia de otros científicos, de que no era posible desarrollar una teoría científica más que en el interior de una epistemología."* (VV.AA., 1985: 266).

¹⁷ Gordon Pask es profesor invitado de Andragología General en la Facultad de Ciencias Andragológicas y Educativas de la Universidad de Amsterdam. Es uno de los más lúcidos científicos de la segunda cibernética dentro de cuyo paradigma trabaja en la denominada *teoría de la conversación*. Actualmente reside en Londres.

¹⁸ Sobre esta afirmación conviene señalar el acuerdo que manifestaba Ibáñez no sólo verbalmente, cuando decía en sus clases que a lo largo del curso pensaba aprender de sus alumnos probablemente más de lo que ellos aprenderían con él, sino también cuando escribió: *"Se ha dicho que un buen profesor logra aprender de sus alumnos tanto como lo que ellos logran aprender de él."* (Ibáñez, 1990: 22).

más que un objeto de investigación propiamente dicho, ha sido una palabra que ha definido no sólo un ámbito de preocupación de un grupo de científicos, sino un desafío en una corriente de pensamiento llamada segunda cibernética. Como nos indica Livet un desafío polémico, pues ha significado la "*...investigación de una complejidad y de una reflexividad ausentes en la primera cibernética.*" (Livet, 1985: 109). Este concepto actuará, por consiguiente, como una frontera más entre la llamada primera cibernética o cibernética de los sistemas observados, donde Ashby se encuadrará, frente a la segunda cibernética o cibernética de los sistemas observadores, a la que von Foerster y Pask darán el salto.

Junto al desarrollo cibernético de la auto-organización tenemos también lo que se ha dado en llamar la aproximación termodinámica a la misma. Ambas aproximaciones guardan, a nuestro juicio, importantes resonancias que ya se perfilan desde los comienzos de la cibernética. En efecto, Wiener intentaba inicialmente concebir máquinas que pudieran seguir un objetivo, siendo capaces estos artefactos de corregir su propio funcionamiento si fuese necesario con el fin de perseverar en su propósito, es decir, se trataba en última instancia de comprender y ser capaz de diseñar un completo proceso de auto-regulación¹⁹. Trabajando en este ámbito, Wiener había tropezado con un obstáculo, a saber, los artefactos modificaban su funcionamiento, pero en lugar de aproximarse cada vez más hacia su meta, *oscilaban* alrededor de ella. Este fenómeno de oscilación, como veremos, guarda igualmente parecido con la noción de *fluctuación* con la que en el campo de la termodinámica se relaciona el nombre de Prigogine. Por lo demás, la importancia que en todos los procesos de auto-regulación tiene el tiempo, se verá igualmente recogida en la obra de este Nobel de Química.

¹⁹ Sobre esta cuestión puede verse la "Introducción" que escribe Pakman en Foerster, 1991: 15-30.

Es en este ámbito donde Prigogine aparece a la cabeza de todo un grupo de investigadores que está recibiendo el nombre de Escuela de Bruselas. El término de auto-organización, como nos recuerda Stengers, tiene una aparición brusca y sin comentarios o justificaciones en la obra de Prigogine²⁰. Los trabajos realizados por Prigogine sobre estructuras disipativas y sistemas biológicos, en la especialidad de termodinámica de los sistemas alejados del equilibrio, son presentados en 1969 en la Segunda Conferencia Internacional de Física Teórica y Biología celebrada en Versalles donde alcanzan el pleno reconocimiento de la comunidad científica. Sin embargo, para ser más precisos, es dos años antes, en la Primera Conferencia, cuando se puede decir que Prigogine ya "...había *"inventado"* el término *"estructura disipativa"* por oposición a las *"estructuras de equilibrio"*." (Stengers, 1985: 60). Siendo a partir de ese momento en el que se puede fechar el comienzo del empleo de la terminología desarrollada por este científico al campo de la química.

El término auto-organización, que es empleado por Prigogine para referirse al proceso que puede desencadenarse al trabajar con inestabilidades químicas, recoge y expresa la importancia que tenía para él, el mostrar que el sobreentendido antagonismo entre el segundo principio de la termodinámica y el orden biológico hasta entonces latente, quedaba ya obsoleto. En efecto, el segundo principio de la termodinámica que postula que todo sistema cerrado tiende a maximizar el desorden, está inicialmente en contradicción con la posibilidad de existencia de estructuras ordenadas en el universo y, obviamente, con la presencia en el universo de seres tan complejos como los vivos²¹. Con todo, ni Prigogine ni Glansdorff, uno de sus más estrechos colaboradores, recuerdan las razones que le hicieron emplear este término en lugar de cualquier otro. Lo cierto es que posteriormente el uso de la noción de

²⁰ Cf. Stengers, 1985: 59.

²¹ Cf. Stengers, 1985: 82.

*orden por fluctuaciones*²², que es propiamente el que presentan las estructuras disipativas, guarda resonancia con el empleado por von Foerster de *orden a través del ruido*.

Ello no obstante, Stengers ha estudiado tan profundamente la obra de Prigogine como para que se pueda asumir, sin mayores dudas, la conclusión de que el concepto de auto-organización, en este autor, no guarda relación con el del problema de la creación de "lo nuevo" que, como sabemos, sí está presente de un modo importante en los usuarios de esta nomenclatura en el ámbito de la segunda cibernética. En otras palabras, para los termodinámicos el problema esencial es el de la estabilidad, incluso cuando emplean una terminología tan poco ortodoxa en esa disciplina como lo es la ligada a la noción de auto-organización. De manera que encontrar un atractor estable también para las situaciones alejadas del equilibrio, es lo que durante años tanto Prigogine como Glansdorff intentaban conseguir²³.

Por lo demás, las investigaciones de Prigogine y Glansdorff en la búsqueda de esas funciones de estado válidas para situaciones alejadas del equilibrio guardan, más allá de apreciaciones de forma, un interesante paralelismo con el desarrollo y aparición de lo nuevo en el ámbito concreto de sus investigaciones. Así, y pese al comentario de Stengers respecto a la escasa relación de las preocupaciones termodinámicas por la aparición de lo nuevo, no podemos dejar pasar la oportunidad que nos ofrece ella misma cuando señala que, si bien puede parecer sinónimo el acto de definir un estado estable en relación a las fluctuaciones con el acto de definir las condiciones bajo las cuales ese estado no será modificado por las fluctuaciones, en realidad, la importancia de la investigación bascula en el

²² Este concepto aparece en 1971 en el artículo de Prigogine y Lefever "Thermodynamics, structure and dissipation" en *Biological Aspects of Electrochemistry, Experiencia Suppl.* vol. 18, 1971: 101-126. Por nuestra parte, hemos recogido esta información en Stengers, 1985: 61.

²³ Cf. Stengers, 1985: 81.

primer acto sobre la conservación del estado estable mientras que, en el segundo, lo hace sobre la aparición o no de fluctuaciones. Pues bien, en definitiva es Stengers quien escribe que *"...en la segunda perspectiva, el objeto teórico primero deviene el punto crítico, el umbral (de alejamiento en relación al equilibrio) a partir del cual [...] el "umbral de inestabilidad" se impone como umbral de aparición de comportamientos colectivos nuevos y estables [...] es el dominio de lo que, desde 1967, Prigogine bautizará las "estructuras disipativas"."* (Stengers, 1985: 81). Por lo que, si bien es razonable pensar que la temática de la aparición de nuevas formas no está originariamente en el proyecto científico de Prigogine, no es menos aceptable reconocer, como ella misma escribe, que a lo largo de sus trabajos esta problemática llega a alcanzar una considerable importancia.

Por su parte, en lo que al campo de las ciencias de lo vivo se refiere, Henri Atlan comienza a investigar los problemas propios de la auto-organización a través de un programa de investigación espacial financiado por la N.A.S.A.. Se trataba entonces de estudiar el efecto de las radiaciones sobre el envejecimiento. Así, partiendo de la hipótesis de que grandes dosis de radiación provocaban efectos patológicos mientras que, por el contrario, pequeñas o muy débiles radiaciones podrían tener efectos estimulantes en lo que a la prolongación de la vida se refería, Atlan comenzó a preocuparse por los estudios teóricos del envejecimiento considerado como un proceso de desorganización no específica. La necesidad de cuantificar la organización le condujo a la teoría de la información, y de allí, a descubrir que bajo los efectos de radiaciones la configuración de las enzimas podía cambiar hasta un punto en el que, si no eran destruidas, se creaba una variabilidad que eventualmente llegaba a ser favorable al sistema en su conjunto²⁴.

De este modo, y recién terminado un primer informe sobre el papel de

²⁴ Véase al respecto Atlan y Stengers, 1985: 243-244.

las radiaciones débiles, Atlan entra en contacto con las recopilaciones de los encuentros sobre sistemas auto-organizadores que coordinaba von Foerster, mediante las cuales llega a conocer el llamado principio del orden a través del ruido que describe como "*...esta fórmula de Von Foerster: el organismo tiene necesidad de ruido en su menú, no se alimenta únicamente de neguentropía como decía Schroedinger.*" (Atlan y Stengers, 1985: 245). Siendo de esta manera como Atlan pudo tomar consciencia de una cierta similitud de sus investigaciones con las apreciaciones de von Foerster por cuanto que en esos momentos, como el mismo Atlan declara, estaba "*...intentando integrar el papel de las perturbaciones, de los ruidos en la vía de comunicación de manera tal que esto pudiese traducirse en un aumento de la cantidad de información y no en una disminución.*" (Ibídem).

Lamentablemente Atlan abandonó este campo de investigación hasta que Dupuy le hizo reflexionar acerca de la diferencia sustancial entre la posición de von Foerster y la del propio Atlan. En efecto, inicialmente Atlan no realizó diferenciación terminológica alguna entre el *principio de orden a través del ruido* de von Foerster, al que denominaba con el apelativo de *primera versión* y lo que posteriormente llegó a ser su descubrimiento al que consideró como una *segunda versión* del idéntico principio. Sin embargo, a instancias de Dupuy, como decimos, Atlan desarrolla la diferencia conceptual que subyacía al principio de von Foerster frente al suyo. Así fue como nos encontramos de hecho con dos versiones dentro del paradigma del orden a través del desorden: "*Primera versión, era la de Von Foerster: el ruido entraña un aumento de la redundancia. Segunda versión, era la mía: el ruido entraña al contrario una disminución de la redundancia.*" (Ibídem).

En consecuencia, del conocido principio del orden a través del ruido de von Foerster, se pasó también a considerar el llamado *principio de la complejidad a través del ruido* de Atlan. Siendo la diferencia entre ambos principios, expresada en términos de teoría de la información, que, mientras

que en el principio desarrollado por von Foerster lo que aumenta es la *redundancia* del sistema, en el caso del principio de Atlan lo que aumenta es la *variedad* del sistema. Llegándose, mediante el principio de la complejidad a través del ruido desarrollado por Atlan, a la valoración del proceso de auto-organización como el paso siguiente a la fase de complejización en un sistema. Es decir, que si el desarrollo de la complejidad en un sistema debe partir de una redundancia inicial de los elementos de ese sistema que al disminuir genera una mayor novedad, la creación y, la eventualmente posterior estabilización de esa novedad, es lo que se conocería como auto-organización.

I.2. EMPLAZAMIENTO SOCIOLÓGICO DE UNA NOCIÓN DE SEGUNDO ORDEN.

Cuando Isabelle Stengers decidió investigar la génesis de la noción de auto-organización se encontró con alguna sorpresa. Aparentemente el *Biological Computer Laboratory (B.C.L.)* que dirigía Heinz von Foerster en la Universidad de Illinois parecía el lugar más adecuado para resolver sus dudas. Lo cierto es que pese a que la auto-organización era planteada por von Foerster como el objetivo y la ambición de su laboratorio, la lectura de los informes de investigación y artículos correspondientes a esta problemática no sólo no eran el principal asunto que preocupaba a aquellos investigadores sino que, además, cada uno de los escritos consultados al respecto permanecían cerrados sobre sí mismos²⁵. Es decir, carecían de lo que la propia Stengers

²⁵ A este respecto tal vez sea bueno recordar que el estilo de trabajo de los investigadores del *B.C.L.* era bastante liberal. Se concedía plena autonomía a cada investigador para que desarrollase sus propias líneas de investigación asegurando, eso sí, una plena comunicación entre las diversas perspectivas. Como ha sido señalado en alguna ocasión: "*La voluntad afirmada de Von Foerster y de sus colaboradores era en efecto romper el estilo competitivo de otros laboratorios.*" (Livet, 1985: 118).

denominaba como la progresión de una intriga. Faltaba lo que caracterizaría a un verdadero proceso de seguimiento y tratamiento de un problema abierto: la paulatina toma de consistencia del asunto en cuestión²⁶.

De este modo, la vertiente cibernética²⁷ de la auto-organización aparecía más como una parte importante en la fundación de la problemática en cuestión, que como los auténticos y completos articuladores de la materia, como, por otro lado, suele ocurrir en la actividad científica ordinaria. Sin embargo, esta temática aún aportaría algo más al *B. C. L.*, particularmente, de cara a la propia diferenciación interna de los cibernetistas como partícipes de una de las divisiones que posteriormente más afortunada ha resultado ser: la distinción entre primera y segunda cibernética. En la primera cibernética, también conocida como cibernética de los sistemas observados o cibernética de primer orden, la auto-organización aparece casi como si de un asunto propiamente de carácter lógico se tratase. Mientras que para la segunda cibernética o cibernética de los sistemas observadores, la auto-organización se mostraría como una propiedad relacional que se produciría en la interacción de sistemas observadores²⁸ entre sí. En este sentido, tal vez resulte más ilustrativo señalar que por aquel entonces, la dimensión auto-organizadora de los procesos cognitivos, que era lo que auténticamente preocupaba a von Foerster, tenía para él dos referentes en cuanto a personas e ideas: de una

²⁶ Cf. Stengers, 1985: 8-10.

²⁷ Si es que cabría emplear el término cibernética ya que como insiste von Foerster a él, lo que por entonces le preocupaba era la computación, la relación entre cognición y organización, lo que -en definitiva- aquí señalaremos como *cálculo*. Véase al respecto VV.AA., 1985: 256-258. Por lo demás, el propio Ibáñez no se adscribe al término *cibernética* sino que directamente asume postulados de *segundo orden*. El mismo término de *investigación social de segundo orden* es buena prueba de cuanto aquí se dice. Francisco Varela en conversación personal con el autor en casa de Ibáñez se congratulaba de este hecho. En fin, permítasenos incluir el comentario, por otra parte señalado por von Foerster en el texto de referencia más arriba indicado, en el que aludía a la existencia de un grupo de delincuentes que empleó el nombre de psicocibernéticos o socialcibernéticos durante un cierto tiempo en los Estados Unidos de América.

²⁸ Cf. Stengers, 1985: 39.

parte, Ashby y su noción de adaptación; de otra parte, Pask y su noción de aprendizaje²⁹.

La noción de auto-organización obtiene respuestas diversas, por consiguiente, en función de las dos estrategias que se desarrollarán en el *B.C.L.*: por un lado, para aquellos investigadores que deseaban codificar estrictamente los conceptos empleados en la cibernética, la auto-organización no pasaba de ser una imposibilidad lógica; por otro lado, para cuantos tenían un sentido y una vocación más interdisciplinar y epistemológica, la noción posibilitaba una mejor caracterización del observador³⁰ en tanto que sistema. Esto último, la consideración del observador como un sistema, alcanzaría su máximo nivel en la obra de Maturana y Varela, para quienes la distinción entre interior y exterior en un sistema no tendría sentido más que para el observador externo, ya que un sistema autónomo no trabaja con representaciones que le vengan dictadas por su correspondencia con el exterior.

A este respecto, cabe señalar que para un sistema autónomo, lo que en la terminología de Varela se traduce en que dicho sistema disponga de *clausura operacional*, la comunicación con el exterior no es más que un proceso de acoplamiento entre distintos sistemas que se perturban entre sí y en los que, cada uno de ellos, por sí mismo, compensaría esas perturbaciones. Cuando las compensaciones que efectúan distintos sistemas a las perturbaciones que le afectan son comparables, entonces, las descripciones que el sistema ha realizado de esas perturbaciones se dice que son comunicables. Pues bien, entre quienes darían el salto conceptual a la

²⁹ Cf. VV.AA., 1985: 256.

³⁰ Como Livet pone de manifiesto: "*La preocupación principal de la "cibernética de segundo orden" no es pues la de definir los modos de acceso a la realidad, es decir de las relaciones entre observador y la experiencia, sino de pensar la constitución del observador, primeramente en tanto que observador de sí mismo.*" (Livet, 1985: 124).

segunda cibernética se encontraban Pask y von Foerster, mientras que entre quienes asumían la posición más axiomática y clásica de la cibernética se encontraba Ashby.

En la primera cibernética el proceso de auto-organización es considerado imposible de acuerdo con la definición que desarrolla Ashby. En efecto, para este autor, si la organización es una función, ésta no puede cambiar por causa de una variable. Admitir esta posibilidad sería tanto como decir que, en realidad, la primera función considerada para investigar las posibilidades de organizarse a sí misma de modo aleatorio no era tal sino que, lógicamente, puesto que varía, estaríamos en presencia de una variable. Lo que significaría que, en última instancia y de modo cierto, existía una función, que sería la auténtica organización, bajo la cual se encontraría la variable que en un primer momento y de modo erróneo habría sido considerada como función³¹. La auto-organización, estrictamente hablando, no existiría, se trataría de un efecto de la ignorancia del observador acerca de la genuina organización del sistema en cuestión. La reducción de la organización a una función matemática hacía que sólo pudiesen darse posibilidades de auto-organización en subsistemas que, en realidad, dependían de un sistema mayor en el cual residiría la verdadera organización del conjunto.

Según Ashby es la *condicionalidad* lo que constituye el meollo del concepto de auto-organización³². Si la relación de dos entidades depende del estado o del valor que tenga una tercera entidad, entonces diremos que la *organización* está presente. En su sentido matemático, "...la organización entre variables es equivalente a la existencia de constricciones en el espacio-producto de las posibilidades." (Lévy, 1985d: 157). La importancia genérica de esta definición tiene que ver con la amplitud de la misma ya que la

³¹ Una exposición más detallada de este razonamiento puede verse en Livet, 1985: 133.

³² Cf. Lévy, 1985d: 157.

realidad, tal y como es conocida por nosotros, no sería más que un mero subconjunto del *espacio-producto* al que hacemos referencia³³. El espacio-producto expresa, por consiguiente, la incertidumbre del observador, dado que este último sólo daría cuenta de una realidad, si cambia el observador cambiaría el espacio-producto de las posibilidades. Es de este modo como encontramos en Ashby la relatividad del conocimiento, sobre la base de las distintas relaciones que un observador mantiene con lo observado. De manera que, parte de su teoría de la organización, tiene que ver con las propiedades organizacionales no de lo observado ni exclusivamente del observador sino, más propiamente, con las particulares constricciones que se dan en la relación observador-observado. Es así como incluso Ashby participa del grupo del *B.C.L.* y de sus preocupaciones por una singular teoría de la observación. Compartiendo, en esta ocasión con los teóricos de la segunda cibernética, el hecho de que un mismo objeto sea abordable desde múltiples puntos de vista y, en este sentido, que el sistema observado que constituye nuestro objeto nos pueda mostrar distintas propiedades según quien sea el observador³⁴. Múltiples perspectivas son pues, susceptibles de aplicación sobre un mismo objeto.

Ahora bien, a diferencia de lo apuntado por Ashby respecto a la auto-organización, para Pask, si se conversa con el sistema, entonces se le está

³³ Como veremos en la tercera parte de esta tesis, este hecho se encuentra en la base de la reflexión que haremos de los conceptos tomados de Deleuze y Guattari de *espacios lisos* para referirnos a las catástrofes y de *espacios estriados* para hacer referencia a las crisis. El espacio liso posee menos constricciones que el espacio estriado lo que, a la luz de la definición sobre organización dada más arriba, es tanto como decir lógicamente que el espacio estriado está más organizado que el liso.

³⁴ En definitiva, esto supone que cabe aceptar la posición de Ashby como plausible de ser incluida en tanto que primer momento del proceso cognitivo que desarrolla la segunda cibernética y según el cual: "*Hay organismos que engendran representaciones de sus interacciones especificando las entidades con las cuales ellos interaccionan como si ellas pertenecieran a un dominio independiente mientras que esas representaciones no hacen más que transcribir sus propias interacciones, es así como esos organismos devienen "observadores". La consciencia es un caso particular de la observación, es una observación de sí que toma la forma de un bucle infinito: el ser consciente produce descripciones de sí mismo, después interacciona con esas descripciones, describe esta interacción, etc...*" (Lévy, 1985d: 179).

percibiendo o, mejor dicho, se está interaccionando con él como si fuese un sistema auto-organizado³⁵. De esta manera es el dispositivo conversacional el que pone en cuestión, para este autor, la existencia de uno y sólo un único punto de vista privilegiado para abordar un objeto de investigación. De tal suerte que el observador ante un sistema auto-organizado no puede adoptar un cuadro de referencia que le sirva de manera definitiva. Por el contrario, el observador ante un sistema auto-organizado debe estar en condiciones de poder dar respuesta a los posibles cambios que se produzcan en el sistema que se trate.

Así es como se explica que la auto-organización en la segunda cibernética deje de ser concebida como una propiedad del sistema observado, para convertirse en una característica relacional que indica que ese sistema es igualmente capaz de *observar* a aquello que le observa o de *interpretar* a aquello que le interpreta. Lo cual, como señala Stengers implica: "...*un modo de interacción que no puede reducirse al descubrimiento de "la" regla de juego a la cual ese sistema obedece.*" (1985: 39). Esta cualidad relacional que presenta la auto-organización es la que hace que, tanto para von Foerster como para Pask, esta propiedad se constituya en un problema no sólo cognitivo sino también ético.

Pues bien, en un campo tan diferente como es el de la termodinámica también encontramos algunas características que guardan una profunda semejanza con este rasgo de autonomía que pone de manifiesto la presencia de comportamientos auto-organizadores. En efecto, de las investigaciones realizadas por Prigogine cabe extraer esta misma lección a juzgar por lo escrito

³⁵ Pask y von Foerster han llegado incluso a explorar la teoría de juegos para aplicarla al *sistema auto-organizador* constituido por una *asamblea* de jugadores. Las resonancias conceptuales de este lenguaje para un Ibáñez preocupado por buscar nuevos instrumentos teóricos con los que hacer frente a la perspectiva dialéctica de su paradigma complejo de investigación social no deben, por obvios, dejar de señalarse. Y es que, como se sabe, en la perspectiva dialéctica es el socioanálisis la técnica que mejor reúne y expresa las dinámicas que se producen en una asamblea (unidad mínima de investigación para esa perspectiva).

por Stengers cuando afirma que un sistema termodinámico lejos del equilibrio no puede ser representado como un producto que resulta dominado por las variables externas o de control sino que, en ese estado lejos del equilibrio: "*Es la actividad misma del sistema, el modo de ser "conjunto" cualitativo (acoplamiento entre procesos) y cuantitativo (intensidad de los flujos) quien determina el sentido y las consecuencias de las constricciones a las cuales está sometido.*" (Stengers, 1985: 99).

Hay que señalar por consiguiente, como sugiere Stengers, que la auto-organización en manos de teóricos como von Foerster, Pask, Needham, Weiss o Prigogine: "*...pone en cuestión una representación dominante de la racionalidad científica articulada en torno a una oposición entre sujeto y objeto.*" (Stengers, 1985: 88-89). De aquí que la propia Stengers termine preguntándose si este hecho no supondrá una nueva ofensiva de la física que, una vez más, se encontraría extendiendo sus instrumentos conceptuales a otros campos de investigación. Al margen de la duda razonable que cabe plantearse sobre esta nueva "invasión", lo cierto es que, como Livet ha señalado, los múltiples atractores que presenta el paisaje conceptual de la auto-organización entrañan algo más que diferentes estrategias cognitivas, definen en realidad distintos modos de posicionamiento del investigador en la comunidad científica³⁶.

³⁶ En este sentido, la reflexión de un metodólogo de las ciencias sociales resulta relevante: "*El principal problema del discurso sobre la sociedad es por supuesto el de la metalógica, lógica del discurso mismo. Me falta espacio para tratarlo aquí de manera conveniente. Diré simplemente esto: la nueva imagen de la ciencia tal como se presenta a nuestros ojos hoy día, en tanto que pone el acento sobre los procesos complejos, auto-organizadores y no lineales, permitirá quizás formular una nueva lógica del discurso y de la organización social que no sea binaria ni reductora, permitiendo formas de razonamiento distintas a las tautologías vacías de la lógica binaria.* [...].

La ciencia debe también, en una cierta medida intentar rebasar las barreras entre las disciplinas. Así como no se encuentra en la realidad un objeto puramente sociológico, antropológico, económico, político, etc, ninguna de estas disciplinas tiene el monopolio de la explicación social. Tampoco, ningún método, cuantitativo o cualitativo puede pretender ser el método en ciencias sociales. Es preciso estudiar diferentes objetos de diferentes maneras y el mismo objeto con diferentes métodos, de manera complementaria y no concurrente. Un método no debe jamás convertirse en fin en sí; un método es siempre un método, es necesario siempre ser consciente de sus límites internos y externos cuando se utiliza y del contexto global de su utilización, así como de su elaboración." (Fortin, 1980: 93-94).

Concretamente con Pask y von Foerster la caracterización de la auto-organización como propiedad relacional entre sistemas observadores, abre el espacio de las relaciones posibles entre los diversos observadores de tal manera que la tradicional distinción entre variables externas o de *control* y variables internas o *autónomas* se vería en este debate relegada a un segundo lugar en provecho de un nuevo objeto del saber. A nuestro juicio, el comentario de von Foerster según el cual el tratamiento no ya de variables sino de *formas* posibilitaría un nuevo tipo de cálculo cualitativo merece cuando menos ser explorado. Por lo que a nuestro trabajo hace referencia, tendremos ocasión, en la tercera parte de esta investigación, de avanzar algunas posturas en este sentido. En efecto, la constitución de unas particulares *formas sociales* sobre la base de las distintas relaciones que puedan mantener ante una determinada situación será el planteamiento de fondo sobre el cual se explicará la utilización del concepto de *masa* como forma social por excelencia de las situaciones de *crisis* y del concepto de *muta* como forma social equivalente en las situaciones de *catástrofe*.

En opinión de Stengers, el comentario de von Foerster, más allá de una genérica puesta en duda de la posibilidad de una deducción determinista, como sería el caso del conocimiento de una trayectoria a partir del conocimiento de su estado inicial, estaríamos, en definitiva, ante lo que brillantemente esta autora ha llamado la noción del *ser conjunto*³⁷, que inicia una apertura de nuestras concepciones más que a un nuevo fisicalismo a una concepción más ecológica de la causalidad en todas las entidades que se encuentran de algún modo acopladas en poblaciones. Para Stengers, como se

³⁷ Libertad y determinismo eran las cuestiones que, en última instancia, se ponían en circulación en el debate científico cuando surgía el problema de la causalidad. Sin embargo, la auto-organización ha supuesto una noción de causalidad que no es tampoco la causalidad circular de los cibernéticos. Se trata de la denominada *causalidad de acoplamiento* que, como se ha puesto de manifiesto: "...deja indeterminada la naturaleza de la interacción (conexión, determinista o estadística, entre autómatas, reacciones químicas produciéndose con ocasión de encuentros entre moléculas, difusión de productos...) para plantear la cuestión de lo que pueden, conjuntamente, una población de entidades acopladas." (Stengers, 1985: 99).

ha encargado de subrayar Livet, la auto-organización vendría a significar: "...la *emergencia de un orden colectivo estable a partir de una población de elementos en interacción.*" (Livet, 1985: 106). Lo que proporciona, a nuestro juicio, una excelente y prometedora definición del concepto polimorfo que la auto-organización ha supuesto a juicio de Livet. Un polimorfismo que no sólo tiene sentido como puesta en marcha de diferentes estrategias conceptuales sino que, como desde la segunda cibernética se ha dicho, define también diversos posicionamientos del investigador en la comunidad científica.

Así, para Varela, la existencia de dos puntos de vista, en cuanto a la conceptualización de un sistema, abre una brecha entre lo que podríamos considerar una primera perspectiva que sitúa sus preocupaciones en torno a la problemática del *control* de sistemas, frente a una segunda perspectiva más preocupada por la *autonomía* de otros sistemas. En este debate, que enriquece la distinción trazada en torno a la diferencia entre *primera* o *segunda cibernética* según se coloque el énfasis en el *sistema observado* o en el *sistema observador* respectivamente, el problema del control de los sistemas, de su modelización o de su gestión abre todo un mundo de posibilidades que ha sido dominante en muchos ámbitos. Particularmente, como ya ha sido avanzado, en las situaciones de crisis y catástrofes es la perspectiva del control la que de modo dominante ha sido desarrollada. En nuestro caso abordaremos sendas contingencias desde la perspectiva de la autonomía, lo que nos abrirá un conjunto de diferentes posibilidades en cuanto a la comprensión de estas situaciones se refiere.

La primera perspectiva ha concedido prioridad al concepto de *instrucción* como modo preferente de comunicación con el tipo de sistemas considerados susceptibles de ser controlados o diseñados desde el exterior.

De aquí que reciban igualmente el nombre de *sistemas heterónomos*³⁸. En palabras de Varela: "*El paradigma fundamental de nuestras interacciones con esta clase de sistemas es la instrucción, y los resultados insatisfactorios de nuestras interacciones con estos sistemas son los errores.*" (Varela, 1989a: 8). Del lado de la segunda cibernética, el modo de comunicación con los llamados *sistemas autónomos*, que se rigen o conducen desde el interior de ellos mismos, no puede ser otro que el ya señalado de la *comprensión*. Estas diferencias han dado lugar a toda una conceptualización que abre interesantes caminos, como veremos, en lo que a investigación básica y aplicada se refiere.

En la llamada primera cibernética, cuyo maestro teórico podría ser von Neumann, dos nociones interdependientes resultan centrales: *flujo de información* y *representación*. Ambas nociones permiten elaborar la teoría por la cual los *indicadores* se constituyen en el modo privilegiado de caracterización de los sistemas heterónomos. Los indicadores se basan en una *lógica de la correspondencia*, que permite extrapolar los resultados de la descripción que hace el indicador del estado del sistema, al sistema mismo. Este hecho no debe extrañar ya que al tratarse de un sistema heterónimo, es decir, especificado desde el exterior, el indicador mide exactamente aquello para lo cual ha sido diseñado -salvo degradación material- dado que el sistema ha sido construido para entrar en correspondencia con otros sistemas mediante instrucciones. La simetría existente entre el esquema teórico que subyace a los conceptos de instrucción como *input* o entrada y de indicador como *output* o salida, es lo que nos ha conducido a explorar una nueva conceptualización para el estudio de los sistemas autónomos.

³⁸ En biología estos sistemas heterónomos reciben el nombre de *alopoiéticos* y en el caso de los sistemas que aquí se denominan autónomos reciben en biología la denominación de *autopoiéticos*. Estas nociones procedentes de la biología, han sido empleadas por Luhmann y por Ibáñez en sociología. Sin embargo, la mayor generalidad de los conceptos de *autonomía* y *heteronomía* que, por lo demás están sirviendo a Varela para una conceptualización más abierta a otros fenómenos, así como la tradición en el lenguaje científico social de estos términos, nos ha hecho inclinarnos por el uso de estos últimos.

Así, cuando trabajamos con sistemas autónomos, ni el flujo de información ni la representación poseen sentido privilegiado alguno. Por el contrario, como el sistema está organizado bajo la forma de una red en la que hay una convergencia y una coherencia de todas las partes concernientes, la caracterización del sistema mediante los flujos de entradas/salidas como las que se dan en los sistemas heterónomos no nos dice nada acerca del estado del sistema. Los sistemas autónomos se rigen en el interior de sus fronteras por una *lógica de la coherencia* y de aquí que consideremos necesario un nuevo instrumental metodológico de cara a la comprensión de estos sistemas. Ese nuevo instrumento es, a nuestro juicio, el *analizador* que sería el equivalente del indicador pero en los sistemas autónomos³⁹. El analizador es, a nuestro juicio, la forma en la que se materializa aquel comportamiento auto-organizador que se da en los sistemas autónomos en situaciones de inestabilidad.

³⁹ Un paso en la dirección hacia la consideración del *analizador* como equivalente del indicador pero en los *sistemas autónomos* tiene su origen, para nosotros, en el acento que Maturana pone en la valoración de los *estados internos* como *outputs* de esos mismos sistemas. No obstante, es Varela quien va más lejos cuando define como imposibilidad conceptual el referirse a *inputs* y *outputs* cuando se trabaja con sistemas autónomos. En esta última clase de sistemas los *inputs* no podrían ser interpretados como señales o instrucciones apropiadas para que hubiese comunicación entre sistemas, todo lo más estas señales no pasarían de ser meras perturbaciones de la estructura de dichos sistemas. Y es que: "*El paradigma fundamental de nuestras interacciones con un sistema autónomo es la conversación, y cuando este género de interacciones ofrece resultados insatisfactorios, nosotros hablamos de incompreensión.*" (Varela, 1989a: 8).

PRIMERA PARTE

LA AUTO-ORGANIZACIÓN EN LAS CIENCIAS DE LA MATERIA:

ILYA PRIGOGINE Y LAS ESTRUCTURAS DISIPATIVAS

LA AUTO-ORGANIZACIÓN EN LAS CIENCIAS DE LA MATERIA: ILYA PRIGOGINE Y LAS ESTRUCTURAS DISIPATIVAS

Es muy probable que el científico social que se detenga ante estas páginas comience su lectura preguntándose acerca de cuál sea la relación que pudiera existir entre la termodinámica y la ciencia social. Y, sin embargo, si esta misma persona es capaz de compartir que: "*En toda sociedad, el orden del conjunto nunca es sino aproximativo y vulnerable, siempre inestable y, por eso mismo, es un generador de incertidumbre.*" (Balandier, 1989: 64). Entonces, el lector estará muy próximo a entender el porqué, de la cada vez mayor extensión del campo de aplicación -y no sólo en su nomenclatura- de la termodinámica de los procesos irreversibles al ámbito de las ciencias sociales y humanas. En este sentido, a la sintonía que el *paradigma del orden a través del desorden* ha generado entre las distintas problemáticas sobre las que los científicos han trabajado en sus diferentes campos de saber, hay que añadir, el específico interés de Ilya Prigogine por la reflexión y la derivación epistemológica de todos sus trabajos. Así es como cabe explicar, a nuestro juicio, el extraordinario aumento y difusión de las ya numerosas y diversas líneas de investigación que se desarrollan a medio camino entre uno y otro ámbito de la investigación científica.

Entre las múltiples líneas de investigación que aúnan las teorías de Prigogine y la ciencia social pueden señalarse, en un somero recorrido, desde el *análisis cualitativo* de sistemas dinámicos no lineales (Aracil, 1986), pasando por el uso de los principios de la termodinámica en la reflexión sobre el *orden social* (Forsé, 1989), para terminar con la aplicación de sus conceptos y teorías al *cambio social* y a su prospectiva (Laszlo, 1990). Con todo, quizá nada tan ilustrativo y aproximado a una lectura reveladora del potencial heurístico de los modelos termodinámicos, como el paralelismo que establece Prigogine entre el mundo físico y las sociedades humanas cuando escribe que: "*El mundo físico, tal como lo conocemos actualmente, es menos manipulable de lo que preveía su lectura clásica. Sucede igual, a fortiori, con las sociedades humanas. En cualquier modelo en el que se trate de evitar la descriptiva estricta y que finalmente desemboque en la represión para mantener las condiciones establecidas, deben necesariamente tenerse en cuenta las fluctuaciones y las posibilidades de autoorganización.*" (Prigogine, 1988: 52). Es decir que, hoy día, el conocimiento científico del mundo físico se encontraría más próximo a los postulados epistemológicos y metodológicos que regulan el saber científico-social, que a aquellas otras categorías que dieron origen a la actividad denominada ciencia y que, prácticamente, han perdurado hasta la primera mitad de este siglo.

Esta última cita, por lo demás, nos ayuda igualmente a entender la profunda *preocupación metodológica* que subyace a todo el trabajo desarrollado por Prigogine y sus colaboradores. En efecto, la reducción que se venía haciendo de la naturaleza a un simple autómatas en el que la previsión y la manipulación podían ser accesibles a todo aquél que estuviese en condiciones de preparar sus estados, ha quedado, ciertamente, puesta en entredicho con las aportaciones que se han realizado desde la termodinámica de los procesos irreversibles. Así pues, el carácter sumiso y pasivo que se había impuesto a la propia naturaleza desde la física clásica es, literalmente, puesto en cuestión, dándose paso a una nueva concepción en la cual, la

identificación del conocer con el saber manipular no deja de ser ya, sino uno más de los variados aspectos que deben encontrar explicación en la historia de la ciencia. En definitiva, será el análisis de la obra de Prigogine lo que constituirá esta primera parte de la tesis doctoral, conscientes como somos de que nos encontramos estudiando "*... los progresos alcanzados últimamente en el ámbito de estos nuevos conceptos y métodos que parecen ser los adecuados para describir fenómenos tales como evolución, incremento de complejidad y diversificación.*" (Prigogine, 1988: 224).

CAPÍTULO II
LA TERMODINÁMICA
COMO PRIMERA CIENCIA DE LA COMPLEJIDAD

LA TERMODINÁMICA COMO PRIMERA CIENCIA DE LA COMPLEJIDAD

Paradójicamente, como señalan Prigogine y Stengers, la imagen de la ciencia ha estado polarizada por dos objetivos contradictorios: por un lado, la búsqueda de una realidad "objetiva" con ausencia, por consiguiente, de cualquier referencia a observador concreto alguno; por otro lado, una concepción del trabajo científico muy ligada al interés humano, es decir, una ciencia concebida como *"... empresa de dominación, de sometimiento al cálculo y a la previsión."* (1990b: 211). En esta apreciación se encuentra, por tanto, una contraposición de fines que, sin embargo, ha confluído hacia una misma actitud del hombre de ciencia ante el mundo que estudia y que podría concretarse en dos características: la radical separación del científico de la realidad que investiga¹ y, lo que no es menos fundamental, una reducción del ámbito de su estudio a aquello *"... que puede ser medido y manipulado."*

¹ Hay una importante componente teológica en esta separación del hombre respecto de la materia que estudia, sirvanos como muestra la reflexión que a este respecto realizan Prigogine y Stengers: *"... el hombre que describe la naturaleza no puede pertenecer a ella, la domina desde el exterior. Aquí otra vez, una teología puede permitir justificar la extraña posición del hombre, el cual, según la ciencia moderna, es capaz de descifrar -aunque laboriosamente, con cálculos y medidas- la ley física del mundo. Galileo explica que el alma humana, creada a imagen de Dios, es capaz de alcanzar las verdades inteligibles que gobiernan el plan de la creación. Puede, por tanto, progresar poco a poco hacia un conocimiento del mundo que Dios, en lo que a El respecta, posee de manera intuitiva, plena y entera."* (1990a: 77).

(1990b: 211)². Pues bien, ambos postulados que podrían considerarse como propios de la ciencia clásica, se ven puestos en entredicho por la que podemos denominar como la primera ciencia no clásica: la termodinámica³.

La ciencia clásica y sus postulados de "extra-territorialidad" y afán pragmático, ciertamente estaban presentes en los orígenes de la termodinámica en lo que eran sus dos más próximos antecedentes: la ciencia de la conversión de la energía y la ciencia de las máquinas térmicas. Sin embargo, y aunque la termodinámica del equilibrio "... *parecía corresponder, en efecto, a la imagen de una ciencia puramente práctica, determinada por nuestras necesidades de manipular y prever.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 196), lo cierto es que este hecho únicamente se daba en el propiamente conocido como estado de equilibrio termodinámico. En efecto, en el estado de equilibrio tenía sentido una descripción del mismo en términos de valores medios que hacían susceptible de previsión y manejo al sistema que se encontrase en ese estado en cuestión. No obstante, lejos del equilibrio termodinámico, se abrían toda una serie de procesos no lineales que hacían imposible mantener para los estados alejados del equilibrio la ilusión de los postulados de la ciencia clásica.

Y es que: "*La ciencia clásica no imponía, sino que permitía ciertas ilusiones que hoy quedan excluidas.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 42). De este modo, la dinámica o mecánica, que ha sido el ejemplo de ciencia clásica por antonomasia, permitía la ilusión de unas leyes universales de la física en

² El paroxismo de esta reducción del campo científico a aquello que únicamente puede ser medido y manipulado, tiene reflejo en la sentencia según la cual: "Las condiciones de posibilidad de experimentación de un objeto son también las condiciones de posibilidad de su existencia; *esta famosa frase resume la "revolución copernicana" realizada por la interrogación trascendental: el sujeto ya no "gira" alrededor de su objeto, tratando de descubrir a qué ley obedece, qué tipo de lenguaje puede permitir descifrarlo; está en el centro, impone la ley y el mundo, tal como lo percibe, habla su propio lenguaje. ¡Qué hay, pues, de asombroso en que la ciencia newtoniana pueda describir el mundo desde un punto de vista exterior, casi divino!*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 121-122).

³ Véase al respecto Prigogine y Stengers, 1990b: 41.

las que las trayectorias aparecían como conservativas, reversibles y deterministas. Unas leyes que suponían que el objeto de la dinámica podía llegar a comprenderse en su totalidad con solo conocer la definición de un estado del sistema y la ley que rige su evolución. En estas circunstancias, de cualquier sistema dinámico se podría *"... deducir, con la certeza y la precisión de un razonamiento lógico, la totalidad tanto de su pasado como de su futuro."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 295). Desde esta convicción, la naturaleza no podía más que mostrarse como un ente completamente extraño al científico que la describe y, además, susceptible de ser manipulada al antojo de este último una vez que desentrañase las leyes de la evolución de aquélla⁴.

De esta manera, no resulta sorprendente que la dinámica se hubiese constituido a lo largo de los últimos siglos de la historia de la ciencia en referencia clásica del trabajo científico, ya que: *"La dinámica realiza así de manera singular una convergencia entre los intereses de manipulación y los intereses de conocimiento que apuntan a la sola comprensión de la naturaleza."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 296). Por lo demás, la dinámica o mecánica se caracterizaba en su trabajo por el aislamiento de los sistemas con los cuales experimentaba, cuestión ésta que le distinguía, lógicamente, de la termodinámica cuyos modos de descripción eran de tipo global, es decir, siempre trabajaban en última instancia sobre la distinción sistema/entorno. Ante esta dicotomía en los modos de valoración, de comprensión y de descripción de la naturaleza, no es de extrañar que alguien terminase

⁴ Esta consideración de la naturaleza por parte del modelo de la ciencia clásica, evidentemente, no es la visión de toda la ciencia lo que no es óbice para admitir el hecho de que: *"Un buen número de críticos de la ciencia moderna han puesto el acento sobre el carácter de pasividad y sumisión que la física matemática presta a la naturaleza que describe. En efecto la naturaleza autómatas, totalmente previsible, es igualmente manipulable en su totalidad para quien sabe preparar sus estados. [...]. Ciertamente "conocer" ha sido en el transcurso de los tres últimos siglos muchas veces identificado con "saber manipular". Pero ésta no es toda la historia y las ciencias no se dejan introducir sin violencia al puro proyecto de la maestría. Son también diálogo, no intercambio entre sujetos, sino exploraciones cuyo único propósito no es el silencio y la sumisión del otro."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 296).

preguntándose, finalmente si "... *el mundo ¿es termodinámico o mecánico?*" (Prigogine, 1991: 82). Ciertamente, como el propio Prigogine señala, hace unas décadas la respuesta habría sido clara en afirmar que, esencialmente, el mundo es mecánico, reservándole, eso sí, un papel secundario a la termodinámica. En la actualidad, sin embargo, la respuesta en favor de la mecánica ha perdido rotundidad⁵.

En efecto, como veremos en este capítulo, los últimos descubrimientos científicos que tienen que ver con la *inestabilidad* han puesto en cuestión el carácter de leyes universales que la mecánica clásica postulaba para el mundo de las *trayectorias*. Ahora, la termodinámica y su mundo de los *procesos* cobran un nuevo sentido y una nueva importancia que les viene conferida

⁵ Al respecto, Prigogine traza muy sintéticamente los aspectos fundamentales y los conceptos que articulan todos estos nuevos modelos científicos capaces de dar cuenta, desde la pluralidad, de la variada gama de fenómenos presentes en el mundo natural: "*Tradicionalmente, clasificamos a los fenómenos según sean reversibles o irreversibles, y deterministas o aleatorios. Todo el mundo conoce estas categorías. Nadie ignora que un péndulo exento de fricción es reversible y determinista; la difusión térmica o química es determinista e irreversible; los movimientos susceptibles de descripción en términos de trayectorias son deterministas, y cualquiera califica de casual el número que resulta al arrojar los dados. Sería difícil aceptar una visión del mundo que excluyera una categoría de fenómenos en favor de otra. Hay fenómenos reversibles y hay fenómenos irreversibles. Hemos aislado procesos deterministas, pero es difícil, dado el número de especies vivas (superior a un millón), creer que la evolución biológica -por no hablar de la evolución cultural- estuviera programada desde los primeros segundos del universo. Por consiguiente, el problema estriba en apreciar la importancia que atribuimos a cada una de estas categorías. Y es aquí donde interviene la modificación del punto de vista de la que hablábamos: para la física clásica, los sistemas reversibles y deterministas constituyen el modelo conceptual por excelencia. Hallamos aquí el punto de partida histórico de la ciencia occidental, cuyos primeros trabajos estuvieron dedicados al estudio del movimiento y en particular de los movimientos planetarios. El triunfo de la concepción newtoniana orientó durante varios siglos la evolución de la visión científica: lo casual y lo irreversible se admitían sólo como casos excepcionales, casi a modo de artefactos introducidos por el hombre en una naturaleza simple, reversible y determinista. Actualmente ha cambiado la situación, y sobre todo después de producirse tres correcciones de gran repercusión. Las partículas elementales han resultado ser casi todas inestables, y distan mucho de constituir el soporte permanente de las apariencias cambiantes, como auguraban las doctrinas atomistas. La cosmología contemporánea nos sitúa frente a una historia del universo, y un subsiguiente despliegue de estructuras, cada vez más complejos. Finalmente, los fenómenos macroscópicos tradicionales, y en particular los que se estudian en química, biología e hidrodinámica, han cambiado de imagen. Por todas partes descubrimos lo casual y lo irreversible. En tales circunstancias, los procesos reversibles y deterministas que constituían la médula de la descriptiva clásica, actualmente se nos evidencian como idealizaciones desmesuradas, y podríamos decir que adolecen de artificiosidad.*" (1988: 47-49).

históricamente por el hecho de haberse constituido como primera ciencia de la complejidad⁶. La cuestión, sin embargo, no es en estos momentos conocer cuál de los dos modos de hacer ciencia, de entender el mundo, o de realizar descripciones de éste es el más adecuado, el más universal. Curiosamente, tampoco "*...se trata tanto de establecer una conexión entre dos tipos de leyes universales, sino más bien de definir los límites de las leyes universales.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 243).

En este sentido, tendremos ocasión de sostener, en el segundo punto de este capítulo, una interpretación del segundo principio de la termodinámica más acorde con el nuevo límite que debe asumir la termodinámica clásica o de los sistemas cercanos al equilibrio termodinámico: la irreversibilidad y la apertura que al tiempo⁷ evolutivo y complejizante ha supuesto el desarrollo de la termodinámica de los sistemas alejados del equilibrio. Al respecto, bien podría afirmarse como colofón que: "*Nos hemos dedicado a buscar esquemas generales, globales, a los que pudieran aplicarse definiciones axiomáticas inmutables, y lo único que hemos logrado, en todos los campos, ha sido encontrar tiempo, acontecimientos y fenómenos de evolución.*" (Prigogine, 1988: 157).

⁶ Acerca de este aspecto, tan solo señalaremos por ahora que: "*La ciencia matematizada de la complejidad nació en el siglo XIX con la termodinámica. El problema del devenir entró en la física en ese momento. Pero, como veremos, los primeros efectos de dicho acontecimiento no fueron nuevas respuestas, sino paradojas, dificultades de la sorda inestabilidad de las categorías más establecidas. Hoy en día, podemos mirar atrás para ver que lo que surgía en medio de la confusión era la primera respuesta científica al problema de la complejidad natural y a la transformación cultural y tecnológica del mundo, a la muerte del mundo clásico.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 136).

⁷ Sobre este particular, Prigogine apunta lo siguiente: "*La renovación de la ciencia es en gran medida la historia del redescubrimiento del tiempo. Tras nosotros queda la concepción de la realidad objetiva que reclamaba que la novedad y la diversidad fueran negadas en nombre de leyes inmutables y universales. Ya no nos fascina la racionalidad que describe el universo y el saber como algo que se va haciendo. El futuro ya no está determinado; no está implícito en el presente. Esto significa el fin del ideal clásico de omnipotencia. El mundo de los procesos en que vivimos y que forma parte de nosotros mismos ya no puede rechazarse como si lo constituyeran apariencias o ilusiones determinadas por nuestros modos de observación.*" (1988: 218-219).

II.1. LOS LÍMITES DE LA CIENCIA CLÁSICA.

Para la ciencia clásica, que tan genuinamente fue caracterizada por Laplace, "...una descripción es tanto más objetiva cuanto más elimina al observador, cuanto más se realiza desde un punto de vista exterior al mundo..." (Prigogine y Stengers, 1990a: 80). A lo anterior habría que añadir, además, que la ciencia clásica ha apuntado siempre hacia la creencia en la existencia de un lenguaje único en la naturaleza. Un lenguaje que debía tener su correlato en un modo de describir la naturaleza que fuese capaz de descifrar las leyes últimas y eternas, que se suponía gobernaban todos los fenómenos que se producían en dicha naturaleza. Ésta era, y es, una propuesta que conducía a la ciencia como un proyecto que debía "... descubrir la verdad única del mundo, el lenguaje único que descifra la totalidad de la naturaleza -hoy diríamos el nivel fundamental de descripción- a partir del cual todo lo que existe puede, en principio ser deducido." (Ibídem). En definitiva, toda una concepción de la naturaleza que definía a esta última como simple y monótona frente a un alma humana dotada de la riqueza y capacidad que le proporcionaba el hecho de estar conformada a imagen de Dios. Hecho éste que hacía al hombre, por tanto, susceptible de conocer el mundo desde una posición distante del mismo⁸.

⁸ Esta posición de la ciencia clásica ante la naturaleza así como ante la actividad que el científico despliega en ella es expresada en su contemporánea articulación a través de un texto de Einstein recogido por Prigogine y Stengers: "Citémos, en referencia a este punto esencial, un texto de Einstein que traduce en lenguaje moderno eso mismo que hemos llamado el mito fundador de la ciencia moderna:

"¿Cuál es la posición que ocupa, entre todas las posibles imágenes del mundo, la del teórico de la física? Esta imagen comporta las más grandes exigencias sobre el rigor y la exactitud de la representación de las relaciones, como sólo puede procurárselo el empleo del lenguaje matemático. Pero, sin embargo, el físico debe limitarse y contentarse con representar los fenómenos más simples que debemos hacer accesibles a nuestra experiencia, mientras que todos los fenómenos más complejos no pueden ser reconstruidos por el espíritu humano con esta precisión sutil y este espíritu de futuro que exige el teórico de la física. La nitidez extrema, la claridad, la certeza no se obtiene más que en detrimento de la integridad. Pero ¿qué atractivo puede tener el hecho de comprender con exactitud una parcela tan pequeña de la naturaleza, dejando de lado, con nitidez y sin valentía, todo lo que hay de más delicado y complejo? ¿Merece el resultado de un esfuerzo tan resignado ese orgulloso nombre de "imagen del mundo"?"

"Creo que este nombre está bien merecido, ya que las leyes generales, que sirven de base a la

Esta estrategia global que preside la ciencia clásica tendente a *"...cercar a la naturaleza, obligarla a confesar la ley a la cual está sometida, el lenguaje que habla."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 110); ciertamente ha dado sus frutos, pero también ha supuesto importantes exclusiones. En primer lugar, esta ciencia ha considerado una naturaleza y ha realizado una descripción de ella en las cuales el hombre ha estado excluido por principio. En segundo lugar, esta misma ciencia ha tenido como objetos de referencia ideales todos aquellos que hoy calificaríamos como dotados de una particular simplicidad⁹. Estas características, desde las cuales se ha construido la gloria de la ciencia clásica, han supuesto el pago de un alto precio, el que ha significado dejar de lado en la aventura científica tanto a la *complejidad* como a la *historia*¹⁰. De este modo pues, es como se ha llegado desde la dinámica clásica a *"...una naturaleza indiferente, para la cual todo estado es equivalente, y una naturaleza sin relieve, llana y homogénea, la pesadilla de una insignificancia universal."* (Ibídem). Una naturaleza, en consecuencia, donde el tiempo no es más que el desarrollo de unas leyes universales y

construcción del pensamiento del teórico de la física, tienen la pretensión de ser válidas para todos los acontecimientos de la naturaleza. Por medio de estas leyes, deberíamos poder encontrar, por la vía de la deducción puramente lógica, la imagen, es decir, la teoría de todos los fenómenos de la naturaleza, incluso de aquellos de la vida, si este proceso de deducción no sobrepasara de lejos la capacidad del pensamiento humano. No es, por tanto, por principio por lo que renunciamos a la integridad de la imagen física del mundo." (Prigogine y Stengers, 1990a: 80-81).

⁹ Tanto es así que Prigogine y Stengers llegan a escribir con cierta dosis de fina ironía que: *"Los primeros físicos habían elegido juiciosamente los objetos eminentemente reducibles a una modelización matemática, objetos todos pertenecientes a la clase bastante restringida de los sistemas dinámicos para los cuales la trayectoria puede definirse con sentido. La historia de la física contemporánea está ligada al descubrimiento de la limitada validez de los conceptos puestos a punto en relación con tales sistemas, cuya descripción puede darse de forma completa y determinista, al descubrimiento, en el seno mismo de la física matemática, del mundo "sublunar"."* (1990a: 301).

¹⁰ Ambas nociones, *complejidad* e *historia*, no sólo han sido marginadas en las ciencias físicas, por el contrario -como se ha indicado más arriba-, han sido apartadas a un lado en toda la tradición de la ciencia clásica y ello incluye, por supuesto, también a las sucesivas corrientes dominantes en sociología. A este respecto, la reivindicación por el estudio de los fenómenos alejados de la "normalidad" desde unos planteamientos que no estigmaticen a estos sucesos en tanto que desviaciones negativas y/o caóticas, aproxima a algunos sociólogos a estudiar fenómenos como la difusión de las innovaciones sociales, el cambio de valores o las situaciones de crisis de un modo potencialmente positivo, siguiendo así una perspectiva más abierta y representada en física por Prigogine y sus colaboradores. Cf. Buhl, 1988.

eternas incapaces de dar cuenta de la emergencia de algo nuevo que no estuviese ya dado y que no pudiese ser reducido al mero estado de apariencia¹¹.

Sin embargo, la ciencia no tardó mucho en encontrarse con fenómenos que desafiaban sus más queridos postulados. Y, lo que es más importante, tampoco tardó mucho la ciencia en reconocer la nueva manera de abordarlos. Así fue como en 1811, cuando la ciencia laplaciana dominaba el continente europeo, Jean-Joseph Fourier obtiene el premio de la Academia por sus trabajos en el tratamiento teórico de la propagación del calor en los sólidos. De este modo, pese a las duras críticas con las que Laplace y Lagrange recibieron a la nueva teoría, ambos terminaron, finalmente, por reconocer la que sería la primera ciencia de lo complejo. La termodinámica desarrolló y supuso así "*... una teoría física, matemáticamente tan rigurosa como las leyes mecánicas del movimiento y absolutamente extraña al mundo newtoniano; la física matemática y la ciencia newtoniana dejaron de ser sinónimas.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 140-141). De esta manera fue como, en el siglo XIX, apareció una nueva ciencia que, no obstante, se alejaba de la concepción clásica de un universo autómatas que se dejaba manipular por todo aquél que fuese capaz de prescribirle las condiciones iniciales apropiadas.

¹¹ Al respecto, cabe decir que la ciencia que asume la complejidad y la historia es completamente diferente a la que encontramos reflejada en los postulados de la ciencia clásica: "*Una ciencia que dé sentido a la noción de creatividad y, en términos más generales, al concepto de innovación no puede ser más que una ciencia profundamente distinta a aquella clásica, de la que Meyerson hizo tan fiel descripción mostrándola únicamente satisfecha cuando había logrado reducir un cambio, una novedad, a simple apariencia, retrayéndola a la identidad de un nivel más fundamental. El modelo de esta ciencia es la descripción de la trayectoria de los astros que no tiene ni principio, ni diversidad y cuya perpetuación idéntica está contenida en la descripción de cada uno de sus estados instantáneos. El triunfo de esta ciencia es la reducción de la diversidad cualitativa al análisis cuantitativo, es el devenir (la evolución durante la cual, sin embargo, algo se produce, en sentido literal) convertido en apariencia, en una descripción aproximativa ligada a nuestra ignorancia. Por el contrario, la ciencia auténtica actual, la ciencia de un habitante de este mundo que explora el medio a que pertenece, está ligada a una profunda conmoción de estos modelos ideales de explicación. Se deriva de nuevos conceptos que, a lo largo de nuestro siglo, hemos tenido que ir introduciendo para esclarecer una serie de paradojas científicas; estas paradojas, ligadas todas ellas al problema de la medida, nos han forzado a reconocer, dentro de las propias teorías científicas una adscripción al mundo que describimos y cuya descripción newtoniana, en su exterioridad, creyó poder eludir.*" (Prigogine, 1988: 68).

En estas circunstancias, la reflexión de Bergson según la cual "... *nuestra física data del día en que supimos aislar sistemas, considerándolos independientemente del mundo a que pertenecen, aislar una causa de su cambio de estado e identificar este cambio al efecto necesario de dicha causa.*" (Prigogine, 1988: 76), que significaba y era el núcleo del llamado principio de razón suficiente, dejaría más adelante de tener aplicación al menos para una clase de sistemas termodinámicos: los inestables o alejados del equilibrio. En efecto, el *principio de razón suficiente* posibilitaba la *reversibilidad* de los estados de un sistema dinámico, el ideal de la razón suficiente consistía en la capacidad para identificar plenamente una causa con su efecto subsiguiente; el conocimiento además de la ley de evolución de ese objeto dinámico permitiría establecer una equivalencia reversible entre la causa y el efecto. "*El principio de razón suficiente unía indisolublemente la definición local de un sistema -la causa plena y el efecto total- y la simetría del tiempo -la relación de equivalencia reversible que articula causa y efecto.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 118). Por tanto, la definición local de un sistema, la descripción de su estado en un instante preciso, permitiría, de acuerdo con el principio de razón suficiente, hacer completamente inteligible el objeto dinámico en cualquier instante de su evolución. La *irreversibilidad* de un estado dinámico sería la prueba, por contra, de una deficiente definición del estado local de ese sistema, del carácter aproximado de nuestros instrumentos de medida en definitiva.

"Y consiguientemente, cualquier tentativa de dar un sentido a la *irreversibilidad* en un lenguaje sujeto a la razón suficiente estaba condenada a presentarla como la consecuencia de una definición aproximada, relativa al punto de vista humano y no al objeto." (Ibídem). Sin embargo, aquella victoria que en el campo de la "objetividad" la dinámica de las trayectorias reversibles obtenía -a través del principio de razón suficiente- sobre los procesos irreversibles, que tenían cabida en el ámbito de la termodinámica, terminó

siendo considerada como efímera¹². En efecto, un nuevo límite, que ha sido también un desafío, ha puesto de manifiesto la conexión de los procesos irreversibles con el mundo de la dinámica: los *comportamientos caóticos*. A la luz de los sistemas dinámicos caóticos, la representación de la dinámica clásica y su principio de razón suficiente se revelan como un caso particular¹³. La irreversibilidad, lejos de ser una propiedad exclusiva de la termodinámica que ponía en evidencia, en la perspectiva clásica, el carácter aproximado de nuestras medidas bien por carencias en el instrumental bien por la introducción del punto de vista humano; concluye, finalmente, en una significación más profunda, según la cual: "*Los límites de validez del principio*

¹² A este respecto recogemos la siguiente nota: "*El ideal de omnisciencia se encarna en la ciencia de las trayectorias y en el diablillo de Laplace que las contempla durante un instante y las calcula para la eternidad. Pero las trayectorias que parecen tan reales son de hecho idealizaciones: no las observamos nunca tales como son porque para eso haría falta una observación de precisión positivamente infinita: haría falta poder atribuir a un sistema dinámico una condición inicial puntual, localizarlo en un estado único, con la exclusión de cualquier otro estado tan cercano a él como se quiera. En las situaciones en las cuales pensamos de costumbre, esta observación carece de consecuencias: poco importa que la trayectoria no esté definida más que con aproximación; el paso al límite hacia valores muy determinados de las condiciones iniciales, si no es efectivamente realizable, es concebible y la trayectoria continúa a perfilarse como límite hacia el cual tiende una serie, de precisión creciente de nuestras observaciones. Sin embargo, hemos encontrado dos tipos de obstáculos infranqueables a este paso al límite; son el desorden, el caos de las trayectorias para sistemas de "estabilidad débil" y la coherencia de los movimientos cuánticos que determina la constante de Plank. En los dos casos, porque, respectivamente, trayectorias divergentes se encuentran en una mezcla tan íntima como se quiera, o porque, al contrario, son demasiado solidarios, la definición de un estado puntual único pierde su sentido, la trayectoria no es solamente una idealización, sino una idealización incorrecta.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 300-301).

¹³ Un ejemplo ilustrativo del cambio de perspectiva en los modos de inteligibilidad de los sistemas dinámicos, que han venido inducidos por los comportamientos caóticos, es descrito en el siguiente texto: "*Todos sabemos lo que significa "jugar a cara o cruz". En cada tirada nosotros no podemos adivinar de qué lado caerá la moneda pero en promedio caerá tantas veces de un lado como del otro. El lanzamiento de la moneda responde así a una ley probabilista [...]. Pero por otra parte, podemos considerar el movimiento de la moneda como sujeto a una ley determinista. En este caso la probabilidad respondería solamente a nuestra ignorancia. Consideremos más en detalle las condiciones iniciales. Simulemos el lanzamiento con ayuda de un ordenador que nos permitirá definir las condiciones iniciales mediante números con tantas cifras decimales como queramos. Dos casos pueden presentarse. Un incremento de la precisión podría suprimir la pertinencia de la ley probabilista: estaríamos entonces en condiciones de predecir que para una determinada condición inicial obtendremos cruz, y para otra determinada cara. Concluiríamos así que la idea de probabilidad sólo provenía de nuestra ignorancia. La probabilidad -y así se la considera generalmente- no es más que un concepto auxiliar. Sin embargo, ahora ya sabemos que no es así necesariamente. Jamás podremos definir una condición inicial que genere de forma determinista uno de los dos resultados posibles. La ley probabilista permanece así como una ley fundamental mientras que la ley determinista deriva de una idealización incorrecta.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 106).

de razón suficiente no están ligados a los del sujeto que observa sino a las propiedades intrínsecas del objeto observado." (Prigogine y Stengers, 1990b: 118-119).

De este modo, *"... la existencia de sistemas caóticos transforma la noción de impredecibilidad, la libera de la idea de una ignorancia contingente que podría ser superada simplemente con un mejor conocimiento, y le da un sentido intrínseco."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 87). En consecuencia, la noción de trayectoria en su caracterización determinista por parte de la dinámica clásica, no dejará de ser ya más que una idealización incorrecta¹⁴. En efecto, si deseamos que la noción de trayectoria determinista se configure como un modo de representación adecuado, más allá de su cualificación matemática para serlo, precisa resistir a lo que se ha venido en llamar el *margen de error físico*. Es decir, en física, como en casi todas las ciencias, no se trata de disponer de unos instrumentos de medida todo lo precisos que se deseen, ya que por muy alto que sea el rigor de éstos siempre obtendremos de ellos valores aproximados, sino, más concretamente, en garantizar que si repetimos aproximadamente la misma experiencia conseguiremos aproximadamente los mismos resultados¹⁵. Pues bien, la existencia de

¹⁴ Ciertamente, como veremos en el capítulo V, el ideal de omnisciencia representado por la dinámica clásica no es más que eso, un ideal: *"Nunca nadie ha pretendido poder predecir las trayectorias de un sistema dinámico complejo. El mismo diablillo de Laplace aparece en la introducción de un tratado sobre teoría de la probabilidad. El diablillo de Laplace no era la figura de la maestría universal, no nos garantizaba la posibilidad de prever todas las cosas, nos anunciaba que, desde el punto de vista de la teoría física, el futuro está contenido en el presente, el devenir y la innovación, el mundo de los procesos en el cual vivimos y que nos constituye, son, si no ilusiones, por lo menos apariencias determinadas por nuestro modo de observación."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 301).

¹⁵ Esta cuestión se verá también en el capítulo V de nuestra tesis, no obstante, por su importancia, anotamos aquí dos citas esclarecedoras sobre el rigor de la medida en física: *"Entraña la gran dificultad conceptual que Pierre Duhem fue uno de los primeros en señalar en La théorie physique, son object, sa structure, cuando escribió: "Una deducción matemática no es útil para el físico en tanto en cuanto se limite a afirmar que una proposición, rigurosamente cierta, tiene como consecuencia la exactitud rigurosa de otra proposición. Para serle de alguna utilidad al físico, hay que probar que la segunda proposición es más o menos exacta cuando la primera es solamente más o menos cierta."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 330). La segunda cita, por su parte, liga el sentido del *más o menos* de la medida a la imposibilidad de descripción determinista de los sistemas inestables, con el argumento de la falta de resistencia de este tipo de descripción al margen de error físico en esta clase de sistemas: *"Para*

sistemas dinámicos caóticos no resiste el margen de error físico; de hecho, *"...cualquier imprecisión en la determinación inicial de tales sistemas se amplifica con el tiempo."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 107).

En consecuencia, no se trata ya de que seamos observadores imperfectos del mundo en el que nos movemos, se trata, más profundamente, del descubrimiento de situaciones reales de ese mundo a las que nos es imposible acceder desde los postulados de la ciencia clásica¹⁶. De manera que, al igual que ahora debemos distinguir entre la probabilidad que proviene de nuestra ignorancia y la probabilidad que viene a caracterizar de modo intrínseco al comportamiento caótico, se hace preciso recuperar a la *irreversibilidad* no como un producto de nuestro desconocimiento parcial de las condiciones iniciales de un sistema, sino, como condición misma del conocimiento¹⁷. Este hecho, que fue argumentado por Niels Bohr para la

Duhem, cuando la introducción de las palabras "más o menos" hace perder su significado a la deducción matemática, ésta queda condenada a la "eterna esterilidad". La transformación de la descripción dinámica que presentamos aquí vuelve a invocar esta condena y propone para los sistemas dinámicos inestables otro tipo de definición y, por tanto, de deducción, que les devuelva el carácter esencial de toda representación matemática de la física, su necesaria resistencia al más o menos. No nos sorprenderá que esta nueva representación sea de naturaleza probabilística. Los sistemas dinámicos inestables responden exactamente las condiciones definidas por Poincaré para la aplicación de las probabilidades: pequeñas causas pueden tener grandes efectos." (Prigogine y Stengers, 1990a: 331).

¹⁶ Así, como escriben Prigogine y Stengers: *"Si, en lugar de ser solamente observadores y manipuladores imperfectos, tuviéramos el poder de "ver" una población de partículas del mismo modo que la astronomía ve el sistema planetario, y de conferir a esta población un estado inicial de nuestra elección del mismo modo que somos capaces de hacerlo para un péndulo o un cohete, la irreversibilidad y las probabilidades perderían su sentido. Podríamos calcular el momento en el que una evolución aparentemente irreversible reconducirá al sistema a su estado inicial y crear evoluciones que alejan un sistema del equilibrio."*

El desarrollo de las técnicas de simulación numérica permite hoy experimentar este poder que, en el siglo XIX, remitía a los experimentos mentales. Pero estas técnicas en lugar de reducir la desviación que nos separa del ideal de omnisciencia manifiestan por el contrario su carácter infranqueable. [...]. Todo conocimiento finito, ya remita a un ordenador capaz de calcular con un número de cifras decimales tan grande como queramos, o a los observadores humanos, choca en el caso de los sistemas dinámicos caóticos con el mismo límite: tras un tiempo de evolución que depende de la dinámica intrínseca del sistema, la noción de trayectoria individual pierde su sentido; sólo subsiste el cálculo estadístico de las probabilidades de evolución." (1990b: 201-202).

¹⁷ Sobre este particular, cabe señalar que: *"De la termodinámica a la mecánica cuántica, la situación ha conocido así una completa transformación. La irreversibilidad no es ya lo que debe ser explicado, ya sea por las condiciones macroscópicas de no equilibrio o por el acto de observación. Por*

mecánica cuántica y que suponía la integración del dispositivo de medida en la definición del fenómeno, ha significado toda una revolución teórica en torno a la noción de *suceso*.

En efecto, "... este modelo implica que el suceso a partir del cual es identificable el objeto cuántico como tal no caracteriza este objeto de manera intrínseca sino que caracteriza su interacción con un dispositivo experimental." (Prigogine y Stengers, 1990b: 159). Como puso posteriormente de manifiesto von Neumann, es éste un paso que conduce inevitablemente hasta la conciencia del observador a medida que se define paulatinamente el dispositivo experimental. Y, sin embargo, ello no debe suponer una interpretación o una valoración subjetivista de la ciencia física, se trata únicamente de tomar en consideración, de incorporar, las limitaciones y consecuencias que la investigación de nuestro mundo conlleva¹⁸. En definitiva, como Prigogine y Stengers han puesto de relieve, lo que tanto la mecánica cuántica como la teoría de la relatividad ponen de manifiesto es que: "*Nuestro diálogo con la naturaleza puede únicamente tener lugar desde dentro de la naturaleza, y la naturaleza sólo responde a aquellos que*

el contrario, es la singularidad de las situaciones a las que corresponden las leyes reversibles la que se ha puesto de manifiesto." (Prigogine y Stengers, 1990b: 207).

¹⁸ En este sentido, incluso las *constantes universales* expresan importantes limitaciones al conocimiento científico, lo que obliga a dejar de lado alguno de los postulados de la ciencia clásica; en el caso que vemos a continuación, el de la objetividad. Por lo demás, la interpretación de esta constante universal fue hecha por un científico dramáticamente constituido en frontera y que aún soñaba una ciencia laplaciana, Einstein. "*Las constantes universales no sólo destruyen la homogeneidad del Universo al introducir escalas físicas según las cuales diferentes comportamientos son cualitativamente distintos, sino que, además, las constantes universales conducen a una nueva concepción de la objetividad física. Ningún ser sometido a las leyes de la física puede transmitir señales a una velocidad mayor que la de la luz en el vacío. De aquí la notable conclusión a la que llegó Einstein: la simultaneidad absoluta de dos sucesos distantes no puede ser definida. La simultaneidad puede ser únicamente definida en términos de un determinado sistema de referencia. No es este el lugar para hacer una descripción de la física relativista. Señalemos aquí, únicamente, que las leyes de Newton no supongan que el observador fuera un "ser físico". Precisamente se definía descripción objetiva como la ausencia de cualquier referencia a su autor. Para los seres inteligentes "no-físicos" capaces de comunicarse a una velocidad infinita, las leyes de la relatividad serían incorrectas. El hecho de que la relatividad se basa en una limitación que se aplica sólo a observadores físicamente localizados, a seres que puedan estar solamente en un lugar a un tiempo y no en ninguna otra parte, da a esta física una cualidad humana.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 250).

explícitamente admiten ser parte de ella." (1990a: 250).

La mecánica cuántica, la ciencia que en este siglo ha sustituido a la mecánica clásica como modo más adecuado de acceder y describir el mundo microfísico, así como la teoría de la relatividad y la termodinámica, manifiestan un aspecto común frente a la dinámica clásica. En efecto, sendas teorías marcan ciertos límites a los postulados de la ciencia clásica. Con todo, es la termodinámica la que más se despega de la tradición clásica o laplaciana, no en vano, la mecánica cuántica aunque ciertamente reconoce el papel del observador en la descripción del fenómeno cuántico, no deja por ello de *"... indicar que seríamos nosotros los observadores quienes, con nuestras medidas, introduciríamos las probabilidades y la irreversibilidad en un mundo que, sin nosotros, sería determinista y reversible."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 16). Por lo que a la teoría de la relatividad se refiere, hemos visto el significado de alguna de las constantes universales en cuanto a la imposibilidad que para un observador físico supone la realización de una descripción de simultaneidad absoluta. Pero, como Heisenberg puso en su día de manifiesto, la imposibilidad que se presenta en el caso termodinámico es de un orden distinto a la imposibilidad que la teoría de la relatividad pone en evidencia. Así, *"... en el caso termodinámico, se define una cierta situación como ausente de la naturaleza; en el caso de la relatividad, es una observación la que se define como imposible, es decir, un tipo de observación entre la naturaleza y el que la describe."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 305-306).

Para finalizar, y a modo de resumen, sólo nos queda señalar que el papel que ha desempeñado en la ciencia clásica el principio de razón suficiente, y que ha tenido su mejor enseña en la dinámica clásica, ha significado: en primer lugar, la independencia del objeto respecto a quien le observa, fundamento sobre el que algunos han establecido la noción de *realidad física*; en segundo lugar, la igualdad entre causa y efecto que ha

supuesto la convicción de que nada pertinente para la definición del objeto y su posterior comportamiento o evolución se dejaba escapar. Ahora bien, la noción de *inestabilidad* que se encuentra en la base de los comportamientos caóticos y la noción de *suceso*, originaria de la mecánica cuántica, suponen un revulsivo trascendental¹⁹ para las descripciones en términos clásicos que dejan de representar, en adelante, el ideal de conocimiento para el conjunto de la ciencia²⁰. Las nociones de inestabilidad y suceso, es preciso decirlo, no son consecuencia de limitaciones en el desarrollo de nuestro instrumental de medición o análisis, por el contrario, demuestran cómo desde la concepción clásica se ha llegado a un punto en el que ahora: *"Ellas no traducen la renuncia al principio de razón suficiente sino el descubrimiento de*

¹⁹ Sobre la importancia epistemológica que estas nociones de *inestabilidad* y *suceso* tienen para el conjunto de la ciencia nos permitimos apuntar lo que sigue: *"El ideal de la razón suficiente suponía la posibilidad de definir la "causa" y el "efecto" entre los que una ley de evolución establecería una equivalencia reversible. La inestabilidad, como hemos visto, hace ilegítimo este ideal. Pero también abre un nuevo campo de cuestiones en los que el suceso juega un papel central. En todos los dominios que hemos explorado hemos reencontrado, bajo formas diferentes, esta noción de suceso. Es el caso de la fluctuación que provoca una transformación cualitativa del régimen de funcionamiento de los sistemas lejos del equilibrio, de la aparición hipotética de macromoléculas capaces de participar en un nuevo tipo de historia que sería la de la vida, de la colisión creadora de correlaciones, de la transición espontánea que lleva a un átomo desde un estado excitado a su estado fundamental y, en fin, del propio nacimiento de nuestro Universo. En cada caso, el suceso crea una diferencia entre el pasado y el futuro que la razón suficiente definía como equivalentes. Es el producto inteligible de un pasado del que sin embargo no podía ser deducido. Él abre un futuro histórico en el que se decidirá la insignificancia o el sentido de sus consecuencias. En torno a las nociones de inestabilidad y de suceso se alumbró así la posibilidad de superar la oposición entre el objeto sometido a las categorías de la razón suficiente y el sujeto que, por definición, debería escapar a ellas."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 193).

²⁰ Sobre este asunto conviene llamar la atención en el sentido de que no se trata de cambiar genéricamente una descripción dinámica clásica por una, conceptualmente, más próxima a la mecánica cuántica o a la termodinámica. De lo que se trata, es de rechazar como modelo ideal de desarrollo científico los postulados inscritos en la ciencia clásica, representados a su vez en la dinámica o mecánica clásica. No está de más, por consiguiente, recoger la clara opinión de Prigogine, quien al respecto se pronuncia de la siguiente forma: *"El movimiento de los planetas es conservador y no introduce innovaciones. El movimiento pendular no aporta novedades; en el vacío, las piedras que caen no manifiestan creatividad. La simplificación operada por la ciencia corresponde a ciertas situaciones reales, y ningún cuestionamiento debería obligarnos a abandonar este tipo de descripción. No basta con sustituir un universo muerto por otro vivo, un universo conservador por otro innovador. Pero las nuevas matemáticas, que llevan nombres tan evocadores como "teoría de las bifurcaciones", "teoría de la estabilidad estructural", nos permiten ya superar las simplificaciones de la física dinámica, abordando ámbitos que ésta sólo podía describir mutilándolos. Por lo tanto, no es contra la ciencia contra la que puede realizarse la inteligibilidad de los procesos coherentes de la naturaleza en devenir, sino de la ciencia liberada por su propio desarrollo de los presupuestos que posibilitaron sus primeros pasos y que, desde entonces, constituyen un obstáculo."* (1988: 82-83).

situaciones donde éste deja de ser legítimo, donde entra en conflicto con la propia idea de conocimiento cuyo ideal se supone que define." (Prigogine y Stengers, 1990b: 194).

II.2. EL SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA Y SU MENSAJE: APERTURA TEMPORAL Y AUMENTO DE LA COMPLEJIDAD.

Hay que reconocer, la verdad sea dicha, que el papel desempeñado por el segundo principio de la termodinámica en relación a los avances conceptuales de nuestro siglo ha sido el de un genuino precursor. Y ello, a pesar de que habitualmente este principio es presentado como una limitación, la de que: *"... los procesos irreversibles escapan al control en cuanto que es imposible invertir su curso y recuperar las diferencias que han sido niveladas."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 49). Lo cierto es que, toda una serie de posteriores descubrimientos, le han dado la razón en relación a la nueva perspectiva a la que abría la ciencia de nuestro tiempo. En efecto, a juicio de Prigogine y Stengers, mientras que el segundo principio de la termodinámica aparecía como sinónimo de impotencia y, por consiguiente, se alejaba del ideal de la ciencia clásica que aparecía mejor representado en este siglo por las teorías de la relatividad y la mecánica cuántica, no es menos cierto, sin embargo, que también estas teorías han supuesto nuevas limitaciones al ideal de omnisciencia representado por la mecánica clásica, como acabamos de ver en el punto anterior.

Los postulados de la ciencia clásica en orden a la mejora de la manipulación y el control de la naturaleza mediante el profundo conocimiento de las leyes que supone rigen a ésta, tropezaron en su desarrollo con el nacimiento de la termodinámica, en general, y, en particular, con su conocida

como segunda ley de la termodinámica²¹. De acuerdo con la primera ley o principio²² de la termodinámica la energía no se crea ni se destruye sino que únicamente se transforma²³; el segundo principio por su parte, manifiesta que se produce en todo sistema físico aislado una magnitud llamada entropía²⁴ cuyo valor tiende a aumentar hasta alcanzar el máximo posible o bien, en el caso más desfavorable para esa magnitud, su valor en el transcurso del tiempo será igual a cero²⁵. Ahora bien, son muchas las

²¹ En efecto, como hemos apuntado en anteriores ocasiones, la termodinámica desde sus comienzos supuso un duro golpe para la ciencia clásica que representaba la dinámica. Al respecto, Prigogine y Stengers subrayan un antiguo lema para referirse a este hecho: "Ignis mutat res", este saber intemporal invocado por la divisa de los antiguos químicos hacía de la química, desde su origen, la ciencia del fuego. Esta ciencia del fuego fue reconocida como ciencia experimental en el curso del siglo XVIII antes de entrañar, en el centro de la ciencia moderna, el retorno de lo que esa ciencia negaba en el nombre de las tranquilas trayectorias de la dinámica, la irreversibilidad y la complejidad." (1990a: 139).

²² La diferencia en el uso de la denominación de *ley* o *principio* tiene como fundamento el hecho de que la ley formaría parte de la experiencia directa, mientras que el principio requeriría especificaciones adicionales, teóricas o prácticas, para ser captado.

²³ Atkins, catedrático de química física en la Universidad de Oxford, en un precioso libro dedicado por entero a *La segunda ley* escribe que: "La Primera Ley reza, en su enunciado común, así: "La energía se conserva". Es decir, lo que se conserva es la energía, no el calor, y ese fue el descubrimiento clave de mediados del siglo pasado, lo que Kelvin y Clausius presentaron al mundo. La introducción de la energía como concepto unificador constituyó, sin duda, un hito de la ciencia del siglo XIX; era aquél un concepto genuinamente abstracto que accedía a un lugar dominante de la física. La energía arrebató el cetro a la fuerza, concepto éste más tangible en apariencia, convertido en idea unificadora desde que Newton mostrara, siglo y medio antes, cómo manejarla matemáticamente." (1992: 8).

²⁴ La distinción de los tres campos de trabajo de la termodinámica, termodinámica de los estados del equilibrio, próximos o cercanos al equilibrio y alejados del equilibrio, se establece justamente sobre la base de la producción entrópica. En efecto: "La producción de entropía permite distinguir tres amplios campos de la termodinámica, cuyo estudio corresponde a los tres estadios sucesivos en su desarrollo. La producción de entropía, los flujos y las fuerzas son todos nulos en el equilibrio; en la región cercana al equilibrio, en donde las fuerzas son débiles, el flujo es una función lineal de la fuerza, [...]. El tercer campo de estudio se denomina región "no lineal", porque en ella el flujo es una función más complicada de la fuerza." (Prigogine y Stengers, 1990a: 175).

²⁵ Al respecto, Prigogine desarrolla una sucinta pero clarificadora explicación: "El segundo principio introduce una nueva función del estado del sistema, la entropía, relacionada con los intercambios calóricos con el mundo externo. Pero, contrariamente a la energía, la entropía no se conserva. Así pues, representaremos el aumento de entropía por una suma de dos términos relacionados; uno, deS , con el aporte externo de entropía, y el otro, diS , con la producción de entropía dentro del propio sistema: $dS = deS + diS$. El enunciado del segundo principio se resume en la desigualdad diS mayor o igual que cero, lo que significa que los fenómenos irreversibles que se desarrollan dentro del propio sistema (conducción de calor a través de un sólido, deslizamiento viscoso, etc.) sólo pueden generar entropía. Para un sistema aislado, el flujo de entropía deS es nulo, y volvemos al enunciado clásico $dS \geq 0$ [sic].

definiciones posibles con las que podemos enriquecer el concepto y, sin embargo, el significado de la entropía es intuitivamente muy claro como para no tener que extendernos mucho más allá de lo necesario²⁶. En efecto, su sentido más difundido es aquél que lo liga al desorden molecular, esto es: *"El segundo principio afirma que un sistema aislado evoluciona espontáneamente hacia un estado de equilibrio que corresponde a la entropía máxima, es decir, al mayor desorden."* (Prigogine, 1988: 306).

En consecuencia, si la producción de entropía en un sistema aislado²⁷ no puede disminuir con el paso del tiempo, este hecho significa que existe una propiedad física en el universo que es irreversible. Es decir, la entropía constituye una característica que hace imposible que un sistema aislado se dirija de modo espontáneo hacia un estado determinado de ese mismo sistema, anterior en el tiempo; siendo este hecho verificable, por la vía que supondría que el sistema mostrara una entropía más baja en el nuevo y concreto estado en el que se encontrase tras el momento inicial de la experiencia. De esta manera, no debe resultar sorprendente que se afirme que: *"La característica fundamental de la producción de entropía es su*

El signo de igualdad se alcanza en un estado particular, el estado de equilibrio a que llega el sistema al cabo de un largo plazo de tiempo. Por lo tanto, el segundo principio implica que, para un sistema aislado, existe una función del estado instantáneo del sistema, la entropía S , que inevitablemente aumenta en el transcurso del tiempo. Esta ley nos provee de un principio universal de evolución macroscópica." (1988: 307-308).

²⁶ Si en el nivel macroscópico la segunda ley de la termodinámica nos proporciona un principio universal de evolución, la respuesta al sentido microscópico la obtenemos en el siguiente texto: *"¿Qué significa el aumento de la entropía a escala molecular? La incógnita ha quedado ampliamente despejada con las investigaciones clásicas de Boltzmann: la entropía es una medida del "desorden molecular". La ley de aumento de la entropía es, por lo tanto, una ley de desorganización progresiva, de alejamiento de unas condiciones iniciales concretas."* (Prigogine, 1988: 308).

²⁷ A continuación anotamos unas breves definiciones de interés: *"En general, un sistema macroscópico está acoplado a su entorno, al que denominaremos frecuentemente "mundo externo", por fuerzas que actúan sobre cada uno de sus puntos internos (por ejemplo, fuerzas de gravitación o fuerzas procedentes de un campo eléctrico). Denominamos sistema aislado aquél cuyas interacciones con el entorno son tales que no existe intercambio de materia o de energía con el mundo externo. Un sistema cerrado es aquél que sólo puede intercambiar energía con el mundo externo, y sistema abierto el que puede intercambiar energía y materia con el mundo externo."* (Prigogine y Stengers, 1988: 306-307).

identificación con los procesos irreversibles." (Prigogine, 1988: 230).

En fin, con la exposición que acabamos de ver, en la cual el significado más popular de este principio es una ley de la desorganización progresiva, no debe extrañarnos el respeto común que suele suscitar este principio que, lógicamente, tiende a ser *"... asociado por antonomasia a la "destrucción" de estructuras, sin tener en cuenta las condiciones iniciales.*" (Prigogine, 1988: 160). Sin embargo, como tendremos ocasión de plantear aquí, en condiciones de inestabilidad, es decir, lejos del estado de equilibrio termodinámico donde la entropía es máxima, pueden surgir nuevas estructuras *"... incluso en el marco de la segunda ley de la termodinámica, [...]."* (Ibídem). Y es que, si bien en la termodinámica de equilibrio era donde el ideal de la ciencia clásica mejor se exponía en termodinámica²⁸, por trabajarse ahí con un estado cuya caracterización en términos de valores medios es posible, hoy día, no cabe ya reducir la termodinámica a la exclusiva investigación del estado de equilibrio²⁹. Es más, se ha puesto en evidencia el carácter singular del estado

²⁸ En efecto, como Prigogine y Stengers han señalado al respecto: *"... la termodinámica lineal describe el comportamiento estable predecible de sistemas que tienden hacia un mínimo nivel de actividad compatible con los flujos que los alimentan. El hecho de que la termodinámica lineal, al igual que la termodinámica del equilibrio, pueda describirse en función de un potencial, la producción de entropía, implica que en las evoluciones tanto hacia el equilibrio como hacia el estado estacionario el sistema se olvida de las condiciones iniciales: cualesquiera que sean las condiciones iniciales, el sistema alcanza finalmente aquel estado unívocamente determinado por las condiciones de contorno impuestas. Como resultado de ello, la reacción del sistema a cualquier cambio a las condiciones de contorno es enteramente predecible.*

Por tanto, el papel desempeñado aquí por la actividad irreversible es básicamente el mismo que en el equilibrio. Y, aunque no se anula, ello no impide, sin embargo, que el cambio irreversible sea una simple evolución hacia un estado que puede deducirse enteramente de leyes generales, identificarse con un "devenir-general" y no un "devenir-complejo" o "devenir-singular". En este sentido, la termodinámica lineal no permite superar la paradoja de la oposición entre Darwin y Carnot, entre la aparición de formas naturales organizadas, por una parte, y la tendencia física hacia la desorganización, por otra." (1990a: 177-178).

²⁹ El hecho de que la termodinámica de los estados del equilibrio manifieste una mayor cercanía a alguna de las maneras de operar de la ciencia clásica, así como que la termodinámica de los procesos no lineales que se producen en los estados alejados del equilibrio presente una más completa visión compleja de su objeto de estudio, no empece el carácter de primera ciencia de la complejidad que, hemos subrayado, corresponde genéricamente a la termodinámica. En este sentido, la perspectiva de un tiempo reversible, propio de la dinámica clásica, fue puesto en cuestión por la termodinámica, si bien mediante la contraposición de un tiempo irreversible que únicamente suponía degradación y muerte.

de equilibrio termodinámico que puede desde ahora ser definido como *"... el único estado que se puede describir en términos de componentes microscópicos esencialmente independientes unos de otros."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 196).

En consecuencia, tendremos ocasión de mostrar cómo, en la termodinámica de los estados alejados del equilibrio, el objeto está constituido por los llamados procesos disipativos, lo que será tanto como afirmar que, en definitiva, el objeto general de la termodinámica de los procesos no lineales lejos del equilibrio no es otro que el estudio del *"... comportamiento de poblaciones de partículas correlacionadas, susceptibles de generar comportamientos colectivos coherentes, de conocer transformaciones cualitativas que dan un sentido a las nociones de probabilidad, de inestabilidad, de suceso."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 196-197). De esta manera, la termodinámica del equilibrio o clásica que nos presentaba *"... un mundo homeostático en el que las fluctuaciones son absorbidas por el sistema."* (Prigogine, 1988: 161-162), ha conocido una ampliación y una transformación de su interés hacia aquellos otros procesos que suponen la aceptación y reconocimiento de un nuevo papel de las fluctuaciones, entendidas éstas como pequeñas variaciones respecto al estado medio del

Ciertamente, como veremos, la termodinámica de los estados lejos del equilibrio puede ya, desde la termodinámica, dar cuenta también del aumento de la complejidad que de modo local y transitorio se produce en el universo, pero, insistimos, la apertura al devenir que supone la complejidad tiene su semilla en la termodinámica. De modo implícito Prigogine y Stengers hacen referencia a esta cuestión cuando escriben que: *"La termodinámica del equilibrio constituye ciertamente la primera respuesta dada por la física al problema de la complejidad de la naturaleza. Esta respuesta se enuncia como disipación de energía, olvido de las condiciones iniciales, evolución al desorden. Cuando la dinámica, ciencia de las trayectorias eternas y reversibles, era indiferente a las preocupaciones del siglo XIX, la termodinámica del equilibrio se vio capaz de oponer al punto de vista de las otras ciencias su propia idea del tiempo. Y ese punto de vista es el de la degradación y la muerte. Ya preguntaba Diderot: "¿Qué somos, seres sensibles y organizados en el mundo inerte y sumiso de la dinámica?" Desde hace un siglo, nuestra cultura está desgarrada por esta nueva pregunta: ¿qué significa la evolución de los seres vivos, de sus sociedades, de sus especies en el mundo del desorden creciente de la termodinámica? ¿Qué relación existe entre el tiempo termodinámico de aproximación al equilibrio y el tiempo del devenir complejo, este tiempo del cual Bergson decía que es una invención o nada de nada?"* (1990a: 166-167)

sistema y que se producen en todos los procesos termodinámicos³⁰.

En efecto, en condiciones de inestabilidad, esto es, lejos del equilibrio termodinámico, la materia manifiesta una nueva característica que abre a la física, por la vía termodinámica, a la constatación de la creación de nuevas estructuras de una complejidad hasta estos momentos no contemplada. La física se abre, en consecuencia, al reconocimiento del aumento de la complejidad³¹ en un universo globalmente respetuoso con el segundo principio de la termodinámica. Así, las fluctuaciones que se producen respecto a los valores medios que caracterizan y representan a un particular estado de un sistema en equilibrio o cercano al mismo, lejos de dejarse subsumir en dichos valores medios, ocurre con ellas que, en un lapso relativamente breve de tiempo, alcanzan en los estados lejanos al equilibrio una coherencia y una consistencia que les ha llevado a ser reconocidas y denominadas como

³⁰ En efecto, como explican Prigogine y Stengers: *"Desde el punto de vista termodinámico, el problema esencial ha sido siempre el de la estabilidad macroscópica y el de la selección de las variables pertinentes que permiten dicha estabilidad. La termodinámica de los sistemas en equilibrio define el estado de un sistema que contiene miles y miles de millones de moléculas, como un estado macroscópico descrito por un pequeño número de variables. Puede hacerlo porque este estado macroscópico es estable respecto a la actividad microscópica incesante que él resume. El segundo principio establece la posibilidad de desdeñar el detalle de los miles de millones de procesos que tienen lugar simultáneamente en cada instante, garantizando la regresión de toda fluctuación que perturba el estado de equilibrio. A diferencia de la dinámica, la termodinámica tiene un método selectivo. Se dedica a representar los mecanismos de evolución del sistema en la medida en que dichos mecanismos tienen un significado, es decir, que permiten predecir el régimen macroscópico que adoptará el sistema. Ahora bien, el estudio de los sistemas lejos del equilibrio nos enseña que esta selección no puede tener lugar de una vez por todas. Depende de las circunstancias, esto es, de la desviación del equilibrio y, por tanto, de los flujos de calor o de la materia que alimentan el sistema."* (1990a: 348).

³¹ Ciertamente en la ciencia clásica existía la noción de complejidad, pero ésta, como veremos en la segunda parte de esta tesis era confundida, frecuentemente, con lo que hoy consideramos como complicación. Al respecto, Prigogine y Stengers apuntan lo siguiente: *"En la perspectiva clásica había una distinción clara entre lo que podía considerarse simple y lo que debía reconocerse como complejo. Se calificaba sin vacilar a las leyes newtonianas de "simples", como al comportamiento de los gases perfectos o a las reacciones químicas. Se hablaba de complejidad en cuanto a los seres vivos y, por supuesto, en cuanto a las prácticas humanas. En esta perspectiva, se trataba de saber si, al menos en principio, esta complejidad podía "reducirse" a la simplicidad de los comportamientos subyacentes. La alternativa parecía ineludible: o bien la "complejidad" se traducía en la aparición de propiedades nuevas, inanalizables, o bien, por el contrario, se reducía a una maraña de procesos más simples, una maraña ciertamente complicada, pero esencialmente no muy distinta de lo que definimos como simple."* (1990a: 342).

*estructuras disipativas*³². En consecuencia, la termodinámica clásica, cuya validez se extiende no sólo a los estados de equilibrio sino también a los estados próximos al equilibrio, se ha visto completamente transformada para los estados alejados del equilibrio³³.

De esta manera, la física clásica ha tenido que reconocer una nueva concepción del tiempo al trabajar con estados inestables o fuera del equilibrio, perdiendo la exclusividad, las dos clases de tiempo que hasta entonces identificaban a la física: "... el *"tiempo-ilusión"* de Einstein, y el *"tiempo-degradación"* de la entropía." (Prigogine, 1991: 97). Aunque se reconozca una situación de equilibrio en los primeros instantes del origen del universo, la evolución de éste, ciertamente, no se ha dirigido hacia la absoluta degradación; el reconocimiento de la inestabilidad en termodinámica también

³² Sobre las estructuras disipativas nos permitimos avanzar el ejemplo de la conocida como *inestabilidad de Bénard* por haber sido una de las primeras estructuras disipativas en ser descritas: "*Las estructuras disipativas son estructuras que nacen como consecuencia de la dispersión. Comprenden algunas de las estructuras perecederas del mundo y desaparecen en cuanto cesa en ellas el flujo de materia o energía. [...] Hay dos puntos a reseñar en esta pauta de comportamiento. Primero, cuando se produce aumenta la tasa de generación de entropía en el universo, ya que el flujo ordenado de energía a través de las células convectivas desde el foco caliente al frío implica una disipación más rápida de la energía. En segundo lugar, junto con la producción más rápida de entropía, hallamos una estructura donde antes no la había (para ser más precisos, una estructura global ha sustituido a una estructura meramente local). En cuanto se elimina la diferencia de temperaturas, la estructura global revierte a una estructura local y las células convectivas desaparecen. La estructura se mantiene gracias al flujo de energía; al punto que ésta cesa, la estructura desaparece.*" (Atkins, 1992: 183).

³³ Al respecto, hay una pregunta y una reflexión sumamente esclarecedoras por parte de Prigogine y Stengers, dice así: "*¿De qué es capaz la materia? Esta pregunta es hoy más rica de lo que se podría esperar. Conocemos ya el estado de equilibrio, estado indiferente, en el que todos los procesos se compensan mutuamente, en el que ningún acontecimiento local puede tener consecuencias. Pero conocemos también las situaciones críticas en las que, por el contrario, el sistema se convierte en una verdadera totalidad, no una totalidad armoniosa y estable, sino un estado literalmente no representable. En él nada es ya insignificante, todo suceso tiene consecuencias que se propagan a través de todo el sistema; ninguna selección, ninguna simplificación está justificada, y la idea misma de nivel macroscópico pierde su significado. Conocemos también, en otras circunstancias, el proceso de nucleación, con la aparición de un umbral a partir del cual un suceso local será significativo y una fluctuación podrá amplificarse. Y conocemos por supuesto las estructuras disipativas, con su impresionante coherencia. Aquí se engendra un tipo nuevo de régimen macroscópico por la multitud de los procesos microscópicos y no se trata ya de un simple estado intermedio, resultante indiferente de numerosos procesos, esencialmente independientes unos de otros; hay que pensar en la aparición de un verdadero comportamiento colectivo que nos impone modificar no ya nuestra representación de lo que es un proceso microscópico, sino de lo que pueden producir conjuntamente gran número de procesos.*" (1990a: 348).

tiene su correspondiente efecto en el nivel cosmológico³⁴. La entropía, noción surgida de una problemática de ingeniero, magnitud construida para la manipulación y la explotación del calor, se transforma así, de originaria y práctica conceptualización en términos de pérdida irreversible del rendimiento termodinámico, en nexo de unión del concepto de *irreversibilidad* con los procesos naturales de evolución y complejidad³⁵.

³⁴ Sobre esta cuestión, Prigogine sugiere la necesidad de una relectura del segundo principio, también en esta escala: *"La inestabilidad destruye el carácter de las trayectorias y modifica nuestros conceptos del espacio-tiempo. Einstein ya había reconocido explícitamente que los problemas del espacio tiempo y de la materia estaban relacionados. Ahora debemos ir más allá, entender que la estructura del espacio-tiempo está ligada a la irreversibilidad, o que la irreversibilidad expresa también una estructura del espacio-tiempo. El mensaje del segundo principio de la termodinámica no es un mensaje de ignorancia, es un mensaje sobre la estructura del universo."* (1991: 96-97).

³⁵ Este paso del origen del segundo principio de la termodinámica como expresión de un problema técnico a noción fundamental de la ciencia básica, así como el lugar que dentro de ésta supone, constituye un acontecimiento digno de mención. Prigogine y Stengers lo cuentan de este modo: *"Aunque abandonemos el contexto cosmológico, el enunciado: la entropía de un sistema aislado aumenta hasta un máximo sobrepasa ampliamente el problema tecnológico planteado en el origen de la termodinámica. El aumento de entropía ya no es sinónimo de pérdidas, se encuentra ligado a los procesos naturales que tienen asiento en el sistema y que lo llevan invariablemente hacia el equilibrio, estado en el cual la entropía es máxima y en donde ningún proceso productor de entropía puede producirse."*

Se puede, retrospectivamente, medir la naturaleza del gesto con el cual Carnot fundó la termodinámica e hizo callar a los hornos; dándose "dos fuentes", separaba lo que en un motor es intrínsecamente irreversible, o sea el proceso de combustión productor del movimiento y lo que puede ser idealizado y convertido en transformaciones reversibles.

Las transformaciones reversibles pertenecen a la física clásica en el sentido en que definen la posibilidad de actuar sobre un sistema, de controlarlo. El objeto dinámico es controlable por medio de sus condiciones iniciales: una adecuada preparación del sistema conlleva la deseada evolución hacia tal o cual estado predeterminado. El objeto termodinámico, cuando está definido en función de sus transformaciones reversibles, es controlable a través de sus condiciones de contorno: un sistema en equilibrio termodinámico, del cual se varía muy progresivamente sea la temperatura, sea el volumen, sea la presión, pasa por una serie de estados de equilibrio y la inversión de la manipulación lleva, de forma ideal, a su devolución al estado inicial. El carácter reversible de la evolución y la sumisión al control a través de las condiciones de contorno son enteramente solidarios. Dentro de este marco, la irreversibilidad viene definida negativamente, aparece sólo como una evolución "incontrolada" que se produce cada vez que el sistema escapa al control. Pero se puede invertir este punto de vista: se puede ver en los procesos irreversibles que disminuyen el rendimiento, el último vestigio que pueda subsistir de la actividad espontánea e intrínseca de la materia en una situación en la que las manipulaciones la canalizan. La distancia entre el rendimiento ideal y el rendimiento real traduce de manera negativa una propiedad que distingue esencialmente los sistemas de la dinámica clásica de los de la termodinámica; el objeto termodinámico, contrariamente al objeto dinámico, está sólo parcialmente controlado; puede llegar a "escapar" en una evolución espontánea, porque, para él, todas las evoluciones no son iguales." (1990a: 158-159).

Una vez más encontramos en la historia de la ciencia cómo, aquello que es rechazado, aquello que trata de ser evitado a toda costa, se convierte, a la luz de una nueva situación, en fuente de extraordinarios descubrimientos y desarrollos científicos. En nuestro caso, la irreversibilidad, la existencia de unos estados más probables que otros hacia los cuales se dirige un sistema aislado tal y como anunciaba el segundo principio, ponía en cuestión los postulados de la ciencia clásica que venían expresados por "... *la antigua asociación entre carácter integralmente controlable y atemporalidad, la reducción del devenir al estado.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 337). La apertura al devenir, la apertura temporal que ha supuesto el segundo principio de la termodinámica frente al tiempo reversible de la ciencia clásica, se ha visto fortalecida si cabe en los estados alejados del equilibrio³⁶. En efecto, dichos estados han significado para la física la oportunidad de que ésta comprenda la importancia de la irreversibilidad en la creación de estructuras complejas no ya sólo en las ciencias de lo vivo y lo social sino, incluso, en la propia termodinámica³⁷.

³⁶ Al respecto, nos permitimos anotar que: "*Al final del siglo XIX se asociaba la irreversibilidad con los fenómenos de fricción, viscosidad y calentamiento. Yacía en el origen de las pérdidas y desperdicios de energía contra las cuales luchan los ingenieros. En ese caso, es posible mantener la ficción de que se trataba de un fenómeno secundario, debido a nuestra torpeza, a nuestras poco sofisticadas máquinas y que, fundamentalmente, la naturaleza era reversible, tal como quería la dinámica. Pero esa ficción se ha vuelto insostenible, al saber que los procesos irreversibles juegan un papel constructivo. Los procesos de la naturaleza compleja y activa, nuestra propia vida, sólo son posibles si se mantienen lejos del equilibrio por los flujos incesantes que los alimentan.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 220).

³⁷ Ciertamente, aunque pueda resultar paradójico, también a la termodinámica le resultó difícil asumir una visión del tiempo irreversible, como se pone de manifiesto a continuación: "*Desde ahora resulta claro que tiempo y creatividad están estrechamente vinculados; sólo una teoría para la que el tiempo no sea algo más que un parámetro puede esperar cubrir una noción, por simplificada que sea, de la creatividad. A partir de esto sería lógico pensar en la termodinámica como punto de partida para la elaboración de semejante teoría. Todos sabemos que, en termodinámica, el tiempo tiene un sentido y que los procesos que incrementan la entropía nunca pueden invertirse, son irreversibles. En realidad, la situación dista mucho de ser tan sencilla, y hasta los termodinámicos trataron de eludir el problema del tiempo que planteaba su propia teoría. Clausius, por ejemplo, enunció, dramáticamente desde luego, el segundo principio (la entropía del mundo aspira a su valor máximo). Pero, desde entonces, se atrincheró y, con él, todos los termodinámicos del siglo XIX en el estudio de una situación límite en la que, tras haber alcanzado la entropía su valor máximo, ya no es posible proceso irreversible productor alguno de entropía. Por lo tanto, se atrincheró en el estudio del estado de equilibrio, situación final de toda la evolución termodinámica dentro de un sistema aislado. De esta manera, la termodinámica se especializó precisamente en el estudio de estos estados en los que la asimetría*

Ahora bien como han afirmado Prigogine y Stengers: *"El segundo principio de la termodinámica siempre ha significado que los diferentes tipos de evolución no eran equivalentes entre sí, pero pesaba una gran ambigüedad sobre la cuestión de saber si esta no-equivalencia era signo de nuestras limitaciones o una propiedad intrínseca de lo que estamos tratando."* (1990a: 337). La ciencia clásica siempre ha considerado la irreversibilidad, la existencia de una no-equivalencia en la evolución entre distintos estados de un sistema, como una limitación que en realidad era introducida por el observador. Y este hecho ha sido reconocido incluso por la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica que, prácticamente, han sido las introductoras de la figura del observador en física. Y, sin embargo, la importancia del segundo principio de la termodinámica en el descubrimiento de la irreversibilidad como característica intrínseca de una clase de sistemas en el universo, ciertamente, ha abierto también a la física clásica, a la aceptación de ella misma como un caso o modo particular de descripción de tan solo una singular parte del universo³⁸.

Pero, siguiendo con la figura del observador, al cual responsabiliza la ciencia clásica de la irreversibilidad que se introduce en la realidad física, lo cierto es que la irreversibilidad es también la propiedad sin cuya existencia sería imposible el conocimiento, como tendremos ocasión de ver en el

fundamental de los procesos físicos ya no se manifiesta." (Prigogine, 1988: 84).

³⁸ En efecto: *"El mundo legal de las trayectorias reversibles permanece así en el corazón de nuestra física; constituye una referencia conceptual y técnica necesaria para definir y describir el dominio en donde la inestabilidad permite introducir la irreversibilidad, es decir, una ruptura de simetría de las ecuaciones en relación al tiempo. Sin embargo, el mundo reversible no es entonces más que un caso particular y la dinámica, equipada con el operador entropía que permite describir el mundo complejo de los procesos, se encuentra a su vez tomada como punto de partida: puede a nivel macroscópico, engendrar la monótona inercia de los estados de equilibrio -estados medios producidos por compensación estadística-, pero puede también engendrar la singularidad de las estructuras disipativas nacidas de una desviación del equilibrio y, finalmente, la historia, el camino evolutivo singular que subraya una sucesión de bifurcaciones. A propósito de una estructura formada como consecuencia de tal evolución, se puede afirmar que su actividad es el producto de su historia y contiene así la distinción entre pasado y futuro. Queda así cerrado el bucle, el mundo macroscópico es a su vez capaz de darnos el punto de partida que necesitábamos para toda observación."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 307-308).

siguiente capítulo. Bástenos indicar aquí la reflexión según la cual "... *la definición misma de aparato de medida, o la preparación de un experimento, necesita la distinción entre "antes" y "después" [...].*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 240). Claro que, esta afirmación, puede ser empleada como prueba, justamente, del carácter irreversible que introduce el acto de observación en una realidad física en la que la irreversibilidad no estaría de hecho presente de manera intrínseca en ella, a juicio de la ciencia clásica. Hecho éste que conduciría a la termodinámica a no ser más que un caso particular en su valoración de la irreversibilidad como fundamental, sin embargo, como hemos visto: "*La termodinámica de los procesos irreversibles ha descubierto que los flujos que atraviesan ciertos sistemas físico-químicos y los alejan del equilibrio pueden alimentar fenómenos de auto-organización espontánea, rupturas de simetría, evoluciones hacia una complejidad y una diversidad crecientes.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 299). Y todos estos sucesos, no sólo están en la base y en la producción ordinaria de la complejidad tanto en las ciencias de lo vivo como en las ciencias de lo social sino que, incluso, en la termodinámica ya juegan un nuevo papel³⁹.

Como hemos tenido ocasión de mostrar, la existencia de una evolución privilegiada para los sistemas aislados, manifestada por el segundo principio de la termodinámica; una evolución interpretable en términos de desorganización progresiva que nos plantea el problema de la irreversibilidad, de la existencia de unas evoluciones más probables que otras, ha significado, a la luz de la termodinámica de los procesos alejados del equilibrio, el

³⁹ En este sentido, Prigogine y Stengers nos dicen: "*Más aún, puesto que los fenómenos de organización originados por la irreversibilidad juegan un importante papel en biología, se hace imposible considerarlos como simples apariencias debidas únicamente a nuestra ignorancia: ¿somos nosotros mismos, por ejemplo, criaturas vivas capaces de observar y de manipular, simples ficciones producidas por nuestros imperfectos sentidos?*"

De esta manera los crecientes desarrollos de la teoría de la termodinámica han aumentado la violencia del choque entre la dinámica y la termodinámica. El intento de reducir la peculiaridad de la termodinámica a aproximaciones debidas a nuestro conocimiento imperfecto parece fuera de toda proporción tan pronto como se comprende el papel constructivo de la entropía; y se descubre la posibilidad de amplificación de las fluctuaciones." (1990a: 241-242).

descubrimiento de estructuras visibles que se crean y que son respetuosas con el segundo principio. Unas estructuras encargadas de disipar energía, es decir, de hacer evolucionar al sistema hacia el máximo desorden y que, paradójicamente, en ese objetivo, en el cumplimiento de su finalidad entrópica, hacen que el conjunto del sistema muestre una coherencia global hasta entonces nunca vista. En definitiva: *"Los desarrollos recientes de la termodinámica nos proponen por tanto un universo en el que el tiempo no es ni ilusión ni disipación, sino creación."* (Prigogine, 1991: 98).

CAPÍTULO III

LA FLECHA DEL TIEMPO:

LA DIFERENCIA ENTRE PASADO Y FUTURO

LA FLECHA DEL TIEMPO: LA DIFERENCIA ENTRE PASADO Y FUTURO

El conocimiento de la segunda ley de la termodinámica no sólo nos muestra un mundo en el que rige una evolución hacia el máximo desorden, nos muestra, ante todo, un mundo en el que rige la evolución. La diferencia entre procesos reversibles tales como los que tradicionalmente ha estudiado, y a los que se ha referido, la ciencia clásica y procesos irreversibles como los que nos ha mostrado la termodinámica mediante el recurso a la noción de entropía, pueden igualmente caracterizarse por lo que se ha denominado la *flecha del tiempo*¹. Según esta nueva caracterización, procesos reversibles

¹ La importancia que para la *historia* del hombre representa la idea contenida en este concepto de *flecha del tiempo* puede calificarse, sin rubor, como extraordinaria. Esta noción, que será empleada implícitamente en la tercera parte de nuestra tesis, es explícitamente reconocida y valorada en su doble aspecto cotidiano y transcendental por Stephen Jay Gould cuando escribe: "*Cuando proclamo que el tiempo como flecha es nuestra concepción habitual, y cuando pongo como condición previa para su entendimiento la idea de unos momentos específicos en secuencia irreversible, por favor, tengan en cuenta que estoy discutiendo una visión de la naturaleza de las cosas sin poder librarme de los condicionantes de mi época y de mi cultura. Como Mircea Eliade dice en la más importante de las obras modernas sobre ciclos y flechas, El Mito del Eterno Retorno (1954), a lo largo de la historia, la inmensa mayoría se ha aferrado al ciclo del tiempo, viendo a la flecha del tiempo como algo inconcebible o como una fuente del más profundo de los terrores (Eliade titula su último capítulo "el terror de la historia"). La mayoría de las culturas han retrocedido ante la idea de que la historia no represente una estabilidad permanente, y que los hombres (con sus guerras), o las catástrofes naturales (con sus consecuencias de devastación y escasez) sean un reflejo de la esencia del tiempo, y no una eventualidad sujeta a que un predicador la revoque o aplaque mediante un ritual. La flecha del tiempo es el producto particular de una cultura, actualmente difundida por todo el mundo, y especialmente "exitosa", al menos en términos materiales y numéricos. En la historia, el interés por lo nuevo y lo irreversible aparece como un reciente*

serían aquellos a lo que no les afecta la flecha del tiempo mientras que procesos irreversibles pasarían a ser aquellos en los que sí tiene influencia dicha flecha. Pues bien, para comprender mejor la idea de flecha del tiempo vamos a recurrir a un concepto clave que, paradójicamente, es por un lado temporal y por otro atemporal.

Vamos a intentar aquí, a partir del concepto de *instante*, reconstruir la transformación que ha implicado el paso de la representación dinámica clásica a la nueva dinámica surgida a raíz del reconocimiento de los estados inestables y de las teorías y nociones ligados a ellos. En efecto, como ya ha sido señalado, en la representación dinámica clásica, la definición del estado instantáneo de un sistema, unido al conocimiento de la ley de evolución de ese sistema en cuestión, nos permitiría conocer la verdad última del objeto dinámico clásico. Sería un conocimiento conservativo, reversible y determinista de las trayectorias de ese sistema, basado en la distinción fundamental entre *estado* y *evolución*. De este modo, en la dinámica clásica: "*El sistema se caracteriza, en un momento dado, por un estado ajeno a toda temporalidad y sometido a una ley que impone su evolución.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 24). Ese estado ajeno a toda temporalidad es, obviamente, un estado instantáneo; producido por lo que se consideraría en dinámica clásica como un corte neutro en cuanto a la dirección del tiempo. En este sentido, podría decirse que ese preciso instante contiene a su vez la eternidad del sistema. La *simetría* entre el pasado y el futuro del sistema quedaría asegurada por la precisión del corte, por la finura con la que ese instante recoge completamente un momento de la evolución dinámica del sistema.

Sin embargo, a la idealizada instantaneidad de la dinámica clásica, que supone una mirada de capacidad infinita, se le ha opuesto una noción de

descubrimiento en la vida de la humanidad. Por el contrario la humanidad más arcaica se defendió, con todas sus fuerzas, de las novedades y los hechos irreversibles que la historia impone (Eliade, 1954, 48).[sic]" (1992: 30-31).

instante procedente de la mecánica cuántica y de otras teorías dinámicas no clásicas. Una nueva noción de instante que, a la perfecta simetría entre pasado y futuro que establecía el corte clásico, opone trazas de una flecha del tiempo insoslayable para cualquier corte tan preciso como se quiera². De esta manera, el estado de un sistema no clásico -cuántico o inestable-, "... *hace del instante un recuerdo del pasado, pero no su recuerdo integral, ya que dicho recuerdo, como toda descripción, sólo articula informaciones de precisión finita; correlativamente este instante representa un futuro esencialmente abierto.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 25). Una apertura al futuro que nos vuelve a marcar la distancia que separa el mundo de las trayectorias *reversibles* de la dinámica clásica, del mundo de los procesos *irreversibles* inaugurado por la termodinámica³.

² Este nuevo corte, no clásico, en la evolución de un sistema implica, por consiguiente, una *ruptura de simetría* entre pasado y futuro. Una ruptura de simetría que, sin embargo, y pese a todas las apariencias, no ha supuesto una equivalente y simultánea ruptura entre las descripciones instantáneas de los sistemas cuánticos y de los sistemas inestables respecto de las descripciones de la dinámica clásica. En efecto, la noción de *simetría* temporal, que el corte y subsiguiente conocimiento del instante definido por ese corte en la dinámica clásica significaba, no ha sido más que un ideal de la física teórica, no ha tenido nunca como referente único y absoluto a la Naturaleza. De modo que, la ruptura de simetría es un concepto que expresa, no tanto un límite en la observación real que la ciencia física puede hacer de su objeto de estudio -aunque también- cuanto una apertura al problema del tiempo irreversible en la tradición teórica de esta ciencia. "*Desde este punto de vista es significativo que por todas partes hayamos reencontrado la noción de "ruptura de simetría". Esta noción implica una referencia aparentemente insuperable a la simetría afirmada por las leyes fundamentales que constituyen la herencia de la física. Y, en efecto, en un primer momento estas son las leyes que han guiado nuestra investigación. A ellas les hemos pedido el definir sus propios límites. Pero, en un segundo momento, la descripción con simetría temporal rota permite comprender la propia simetría como relativa a la particularidad de los objetos en otro tiempo privilegiados por la física, es decir, situar su particularidad en el seno de una teoría más general. La ruptura de simetría permite así una "génesis conceptual" de la flecha del tiempo a partir de las leyes físicas reversibles. La ruptura de simetría por la cual toma sentido la flecha del tiempo remite, como la "ruptura del círculo" kepleriana, no a la "Naturaleza" sino a la tradición de la física.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 210).

³ En efecto: "*¿Cómo caracterizar el Universo descrito por la dinámica clásica? Es un Universo en el que todas las transformaciones pueden reducirse básicamente al movimiento de la materia en el espacio y este movimiento está descrito en términos de trayectorias. La verdad dinámica del mundo se centra, por tanto, en el concepto de trayectoria. Para definir una trayectoria, hemos de disponer simultáneamente de dos tipos de información: la ley general de la trayectoria, la ley que determina el paso del sistema entre dos estados instantáneos sucesivos cualesquiera y además necesitamos la descripción completa de un estado instantáneo del sistema, cualquiera que sea. A partir de dicho estado, la aplicación de la ley permitirá a la trayectoria desplazarse de un estado a otro, tanto hacia el pasado como hacia el futuro. La ley dinámica es una ley reversible que describe igualmente el paso de un estado al inmediatamente precedente o al inmediatamente subsiguiente. En dinámica el pasado y el futuro juegan idéntico papel, es decir ninguno.*"

Ahora bien, aun cuando hemos destacado el hecho de una reconceptualización del instante dinámico sobre la base de los descubrimientos de la mecánica cuántica y de la dinámica de los sistemas inestables, las razones que en uno y otro caso llevan a incorporar una traza de la flecha del tiempo, en el concepto de instante no clásico, es bien distinta. Así, se puede afirmar que mientras que: *"En el caso inestable, las trayectorias estaban demasiado "desordenadas", demasiado "independientes"; por el contrario, en el caso cuántico trayectorias vecinas son correlativas, no pueden ser separadas."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 292). Ciertamente, en ambas ocasiones nos encontramos con que ni el pasado ni el futuro están íntegramente contenidos en la descripción del sistema cuántico o del sistema inestable. Sin embargo, la mecánica cuántica no rechaza el postulado de la reversibilidad, todo lo más, lo achaca a la imperfección de los dispositivos de medida o a la intervención del observador.

De este modo, la mecánica cuántica se constituye en una frontera o límite que protege en última instancia alguno de los postulados de la dinámica clásica, en este caso, el de una idealizada reversibilidad. La termodinámica vuelve a ser así, la única parte de la física que, decididamente, apuesta por la complejidad de algunos sistemas de modo intrínseco. Una complejidad que se manifiesta reconocedora del problema de la irreversibilidad como característica, no absoluta, pero desde luego tampoco dependiente de los fenómenos de observación y medida⁴. Es más, justamente esa no

La definición de un estado instantáneo en términos de las posiciones de las partículas de las cuales se compone y de las velocidades de estas partículas, contiene el pasado y el futuro del sistema." (Prigogine y Stengers, 1990a: 225-226).

⁴ En efecto, Prigogine y Stengers plantean una objeción a los defensores de la irreversibilidad como producto exclusivo de nuestra ignorancia: *"Según esta interpretación, la termodinámica debería ser tan universal como nuestra ignorancia; los únicos procesos que deberían existir son los irreversibles. Este es el obstáculo donde tropiezan tales experimentos universales de la entropía basados en nuestra ignorancia de las condiciones iniciales (o de contorno), ya que la irreversibilidad no es una propiedad universal. Para enlazar la dinámica y la termodinámica debemos introducir un criterio físico de diferenciación entre los sistemas, según el cual éstos puedan o no ser descritos termodinámicamente."* (1990a: 240).

universalidad de la irreversibilidad es lo que permite deslindar una concepción de la complejidad intrínseca, que poseen determinados sistemas, de otra complejidad entendida como reflejo de nuestra propia ignorancia sobre esos sistemas. Tanto para Prigogine como para Stengers: "*La complejidad debe definirse en términos físicos y no en términos de falta de conocimiento.*" (1990a: 240).

Paradójicamente, como no podía ser de otro modo, quienes defienden que la irreversibilidad es un efecto de la imprecisión de nuestros dispositivos de medida -dinámica clásica- o de la interferencia de estos con el objeto dinámico -mecánica cuántica- defienden una mayor "objetividad" de las leyes físicas recurriendo a una cierta visión teológica de ese objeto. En efecto, nos estamos refiriendo a todos los personajes a los que se refiere la ciencia clásica para justificar el ideal de reversibilidad y simetría que tan profundamente arraigado está en ella. Desde el *diablillo de Laplace*, que podría calcular en un sólo instante la posición y velocidad de todas las partículas de un sistema dinámico; al *Dios de Einstein* que no juega a los dados y, por consiguiente, en la realidad física la probabilidad no es más que una deficiente aproximación; pasando por el *demonio de Maxwell*, que es capaz de invertir la flecha del tiempo separando en un sistema las moléculas rápidas de las lentas, lo cierto es que, a veces, borrar la marca de la subjetividad humana en la ciencia clásica parece una tarea únicamente posible sobre la base de emparentar al científico con dioses o con diablos⁵.

⁵ El demonio de Maxwell trata de superar la segunda ley de la termodinámica, haciendo de sí mismo un ser capaz de obtener indefinidamente su propia energía. Para ello, lucha contra la entropía del sistema, mediante la creación de un subsistema caliente -cargado de moléculas de alta velocidad- separado de otro subsistema frío -pleno de moléculas lentas- y efectuando y regulando el trasiego de las partículas de uno a otro subsistema. Por su interés vamos a anotar el comentario de Wiener al respecto: "*Aquí aparece una diferencia muy interesante entre la física de nuestros abuelos y la actual. En la del siglo XIX parecía que no costaba nada conseguir información. De ahí resulta que no hay nada en la física de Maxwell que impida a su demonio obtener su propia energía. Por el contrario, la moderna reconoce que el demonio sólo puede informarse acerca de si debe abrir o cerrar la puerta mediante un órgano sensorial que, para este propósito es un ojo. La luz que incide en el ojo del demonio no es un suplemento carente de energía del movimiento mecánico, sino que comparte las principales propiedades de este último. La luz no puede ser recibida por ningún instrumento a menos que incida en él y tampoco*

En fin, vamos a intentar tratar en este capítulo acerca de las consecuencias que el reconocimiento de la flecha del tiempo tiene para nosotros. De la apertura al tiempo que continúa significando la irreversibilidad, pese a derivarse del segundo principio de la termodinámica; del hecho de que ésta lejos de ser una deficiente aproximación a nuestros objetos de estudio, en realidad es la condición no sólo de su existencia, sino del conocimiento científico mismo tal y como lo entendemos actualmente. En definitiva, trataremos de ver cómo la flecha del tiempo nos coloca en una mejor posición para plantearnos nuestra existencia, dentro del respeto a las leyes de la Naturaleza de la cual formamos parte⁶. Vamos, finalmente, a conocer una cosmovisión que no se opone a la idea de evolución, sino que cumple la primera exigencia mínima necesaria para que ocurra: *"La primera de estas exigencias, casi una tautología, es ciertamente la irreversibilidad, la ruptura de simetría entre el antes y el después."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 52-53).

puede indicar la posición de una partícula cualquiera si no cae sobre ella. Esto significa que ni siquiera desde el punto de vista puramente mecánico podemos considerar el recipiente como exclusivamente compuesto de gas, sino como gas y luz que pueden estar o no en equilibrio. Si ocurre lo primero puede demostrarse, de acuerdo con las teorías físicas actuales, que el demonio de Maxwell será tan ciego como si se encontrase en la oscuridad más absoluta. Tendríamos rayos de luz en todas direcciones, lo que no nos proporcionaría ninguna indicación acerca de la posición y la velocidad de cada partícula. En consecuencia, el demonio de Maxwell sólo podrá actuar en un sistema que no esté en equilibrio. Sin embargo, en ese caso la colisión constante entre la luz y las partículas de gas tiende a colocar ambas en un estado de equilibrio. Así, pues, aunque el demonio puede invertir temporalmente la dirección de la entropía, a la larga también quedará agotado." (1969: 28-29).

⁶ Al respecto, Prigogine y Stengers reflexionan del siguiente modo: *"La cuestión del saber "por qué hay algo y no nada" ha sido llamada la cuestión filosófica por excelencia. Podríamos decir que la física ha encontrado hoy los medios de responder a ella. Sin embargo, la cuestión, en el sentido filosófico, se encuentra de hecho desplazada. Podría formularse: "¿Por qué existe una flecha del tiempo?". Pues, al final de este recorrido donde se han roto sucesivamente tantos ideales de eternidad, donde el devenir irreversible ha sustituido en todos los niveles a la permanencia, la flecha del tiempo se impone como nuevo pensamiento de la eternidad. Ella, que había sido sojuzgada como relativa solamente al carácter aproximado de nuestro conocimiento, es la que en adelante reencontramos como condición, en sí misma incondicionada, de todos los objetos de la física, desde el átomo de hidrógeno al propio Universo. Ella es la que nos permite pensar la solidaridad entre los tiempos múltiples que componen nuestro Universo, entre los procesos que comparten el mismo futuro, e incluso quizá entre estos mismos Universos cuya sucesión indefinida podemos pensar hoy."* (1990b: 209).

III.1. EL NO-EQUILIBRIO COMO REVELADOR DE LA FLECHA DEL TIEMPO.

El estado de no-equilibrio⁷ de un sistema cualquiera no es el responsable de la existencia de una flecha del tiempo para ese sistema. La flecha del tiempo, la indicación de una dirección privilegiada en la evolución de un sistema, ya lo hemos visto, es algo que viene promovido por la existencia de la segunda ley de la termodinámica, que marca a un estado como más probable que otro en la evolución de ese sistema. Ese estado más probable es aquél en el que un sistema aislado maximiza una función denominada entropía, función que se traduce en términos microscópicos como correspondiente a la máxima desorganización de las partículas que forman el sistema en cuestión⁸. Ahora bien, si las condiciones de no equilibrio no crean la flecha del tiempo, ¿qué relación hay entre los sistemas alejados del equilibrio termodinámico y la flecha del tiempo? Muy sencillo, lo que los

⁷ Recordamos aquí que: "Un sistema abierto puede existir en tres regímenes distintos. Está, primero, el sistema de equilibrio termodinámico, en el que flujos y corrientes han eliminado diferencias de temperatura o de concentración; la entropía ha alcanzado un nuevo y mayor valor, se ha alcanzado la uniformidad. Para los sistemas aislados, se trata del estado de máximo desorden molecular, entropía máxima, y el estado de equilibrio está regido en tales sistemas por el principio de orden de Boltzmann. El segundo régimen posible difiere poco del estado de equilibrio, pero en él las pequeñas diferencias de temperatura o de concentración se mantienen dentro del sistema para que permanezca en un ligero desequilibrio. Si la perturbación del equilibrio es lo bastante pequeña, podemos analizar el sistema añadiendo únicamente una leve corrección al estado de equilibrio, y por ello denominaremos tal situación "estado lineal de no equilibrio". Sin embargo, puede demostrarse en este caso que el sistema se mueve lo más cerca posible del estado de máximo desorden molecular y que es imposible la aparición de una nueva estructura u organización.

La situación es muy distinta en el tercer régimen posible, que es el resultante de unas ligaduras exteriores mantenidas en unos valores tales que obligan al sistema a alcanzar un estado lejos del equilibrio. Es en estas condiciones cuando pueden aparecer espontáneamente nuevas estructuras y tipos de organización que se denominan "estructuras disipativas". (Prigogine, 1988: 240-241).

⁸ En efecto: "Si consideramos seriamente la segunda ley de la termodinámica con su interpretación probabilista, tenemos que asociar el equilibrio a la máxima probabilidad. Pero la máxima probabilidad, en términos de partículas significa movimiento incoordinado, caótico, similar a la modalidad con que los atomistas griegos imaginaban el mundo físico. A la inversa, definimos las partículas como las unidades incoordinadas que actúan de forma caótica en el equilibrio termodinámico. ¿Cuál es, entonces, el efecto del no equilibrio? Crear correlaciones entre esas unidades, crear orden a partir de los movimientos caóticos que se originan en el estado de equilibrio. Esta descripción de la naturaleza, en la que el orden se genera a partir del caos a través de condiciones de no equilibrio aportadas por el medio cosmológico, nos lleva a una física bastante similar en espíritu al mundo de "procesos" imaginado por Whitehead, nos lleva a concebir la materia como algo activo, un estado continuo del devenir." (Prigogine, 1988: 32-33).

sistemas alejados del equilibrio posibilitan a la flecha del tiempo es que ésta se manifieste en el nivel macroscópico.

Sin embargo, desde la propia termodinámica clásica, se ha identificado y trabajado con sistemas cercanos o en el estado de equilibrio como sistemas reversibles, esto es, suponiéndoles carentes de cualquier influencia en ellos de una flecha del tiempo⁹. Como han escrito Prigogine y Stengers: "*En la perspectiva tradicional, la descripción del estado de equilibrio era ajena a cualquier distinción entre pasado y futuro. Esta distinción parecía así meramente relativa a una situación macroscópica de no equilibrio.*" (1990b: 203). En efecto, desde el punto de vista clásico, para un sistema en equilibrio termodinámico no existía diferencia alguna entre la descripción de un estado inicial de ese sistema, o la descripción del estado que resultaría de la inversión completa y simultánea de las velocidades de todas, y cada una de las partículas de ese sistema, en su estado inicial. Existiría, en consecuencia, una simetría entre ambos estados del mismo sistema con sólo disponer, como hemos visto, de una definición precisa de uno de los instantes del sistema así como de la ley que rige su evolución.

Si esto es así, ¿qué ha cambiado hoy día para que no podamos seguir aceptando este postulado de reversibilidad entre estados de un mismo sistema en equilibrio? Pues bien, lo que ha cambiado es la precisión con la que podemos actualmente estudiar la dinámica de las *colisiones* o choques que se producen entre las partículas. Ahora sabemos que las colisiones que se

⁹ Para Prigogine: "*Es comprensible la fascinación que ejerció el estado de equilibrio sobre el científico. El estado de equilibrio establecía, en realidad, una aparente continuidad entre dinámica y termodinámica. Confirmando el diagnóstico de Bergson, podemos decir que tanto dinámica como termodinámica de equilibrio niegan cualquier "creatividad" del sistema; el estado de equilibrio está también estrechamente determinado por sus condiciones en los límites, tan estrechamente sometido al control de quien pueda manipular estos parámetros, como el sistema dinámico por sus condiciones iniciales y sus leyes de desarrollo. En ambos casos, el científico es el Dios de su objeto, y conocer es controlar; en ambos casos, se establece el control sobre un sistema en el que no sucede nada, en el que nunca ha sucedido nada en dinámica, en el que ya nada sucede en termodinámica, porque toda la energía disponible se ha degradado.*" (1988: 84-85).

producen entre las partículas de un sistema en el equilibrio crean *correlaciones* entre algunas de esas partículas. Y, también conocemos, que las colisiones que se producen al invertir las velocidades de las partículas de ese sistema para llevarlo a un estado anterior son diferentes. En efecto, la diferencia radica en que las colisiones que conducen al sistema hacia el equilibrio, esto es, cuando el sistema tiende hacia su máxima desorganización, son colisiones que no sólo crean correlaciones, sino que se acercan, algo más, a una distribución más entrópica de las partículas del sistema. Por el contrario, las colisiones que se producen entre las partículas a las que se les invierte sus velocidades, no sólo hacen que el sistema gane algo más de energía sino que, además, destruyen las correlaciones precolisionales producidas con anterioridad a la inversión de velocidades¹⁰.

Como señalan Prigogine y Stengers: "*La dirección en la que fluye el tiempo tiene por tanto un significado simple, es la dirección según la cual las colisiones se transforman en correlaciones y no a la inversa.*" (1990a: 336). De este modo, el estado de equilibrio, que había sido el punto de unión de la termodinámica clásica con los postulados de la ciencia clásica, pierde en razón de la dinámica de correlaciones, desde este momento, su significado atemporal y reversible. En este sentido, podríamos decir que de la concepción temporal que hemos empleado aquí para referirnos al estado *inicial* de un sistema en equilibrio o próximo al equilibrio, al que íbamos a invertirle las velocidades de sus partículas para disponer *tras* la experiencia de un estado simétrico al *inicial*, la ciencia clásica habría dicho que somos nosotros, los observadores, quienes para entendernos y comunicarnos, hemos introducido la flecha del tiempo para indicar un *antes* y un *después* de la experiencia.

¹⁰ Así pues, como afirman Prigogine y Stengers: "... el flujo irreversible de las correlaciones caracteriza tanto el estado de equilibrio como los estados alejados del equilibrio. Incluso en el equilibrio las colisiones crean de hecho correlaciones que desaparecen sin producir efectos macroscópicos. Podemos entonces invertir la perspectiva tradicional: no es la desviación (macroscópica) respecto al equilibrio la responsable de la flecha del tiempo sino que es el estado macroscópico de equilibrio el responsable de que esta flecha del tiempo, siempre presente en el nivel microscópico, no tenga, en este estado, efecto macroscópico." (1990b: 203).

Es decir, la ciencia clásica argüiría con la vieja idea del dispositivo experimental como causa de la irreversibilidad, como responsable de la introducción de la diferencia temporal, de la flecha del tiempo en definitiva, en una realidad física para la que, cualesquiera de sus estados, es representativo y contenedor de toda la eternidad del sistema. Ésta sería la respuesta que la ciencia clásica daría a este fenómeno. La ciencia clásica trata, por consiguiente, de atribuir a una causa exterior a la dinámica del sistema la introducción de la flecha del tiempo. Sin embargo, ahora sabemos que esto no es cierto, que incluso en un sistema en equilibrio se presentan diferencias intrínsecas a la propia dinámica del sistema que hacen que sus partículas den cuenta de un modo diferente de las colisiones que les conducen hacia una distribución más entrópica de las mismas, que aquella otra distribución que las aleja de ese inicial estado de equilibrio. Una diferencia basada en la colisión que crea unas concretas correlaciones frente a otra tipo de colisión que no hace sino destruir las que existen¹¹. Como ha sido señalado: "*Podemos concluir así que en el nivel microscópico la diferencia entre pasado y futuro persiste incluso en un sistema en equilibrio.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 131).

Pero, si puede mostrarse la existencia de la flecha del tiempo en los estados de equilibrio termodinámico, donde se pensaba que en termodinámica era el único estado que manifestaba una cierta conexión con los postulados de la ciencia clásica, por qué no intentarlo en uno de los laboratorios de experimentación conceptual más importantes que se conocen en física, es decir, por qué no plantear la existencia de una flecha del tiempo también en

¹¹ En este sentido, George se pronuncia del siguiente modo: "*Todos los conceptos, colisión, creación de correlaciones, etc. están basados sobre un orden a un sólo tiempo, próximo a la idea de tiempo macroscópico. Es así posible formular la diferencia entre una colisión participante en una evolución hacia el equilibrio y la anti-colisión, simétrica desde el punto de vista de las interacciones dinámicas, que intervendría en el momento de la evolución impuesta por una inversión de velocidades. La colisión crea correlaciones post-colisionales y son ellas, convertidas en pre-colisionales por la inversión que consumirla la anticolidión.*" (1988: 207).

la cosmología¹². Pues bien, para adentrarnos en este campo, vamos a considerar a continuación un modelo cosmológico susceptible de contraponerse a los desarrollados por la perspectiva clásica, un modelo que surge a partir de las limitaciones de los modelos cosmológicos clásicos. En este sentido, vamos a emplear algunos de los conceptos incluidos en las teorías desarrolladas por un reciente representante de la ciencia clásica de nuestros años, Albert Einstein.

Para este científico, que ha jugado uno de los papeles más importantes en apoyo de la reversibilidad de los estados de un sistema, esto es, del no reconocimiento de una flecha del tiempo en la realidad física por él considerada, la geometrización del tiempo ha sido uno de sus retos más fructíferos. Sin embargo, el Universo cuádrimensional que sus ecuaciones nos mostraban terminaron por revelarnos, paradójicamente, un Universo en expansión, un Universo, por tanto, no estático. Lo que deseaba formularse como una verdad eterna -como, por otra parte, trata siempre de recogerse en el concepto de *instante* clásico- no pasó, finalmente, de ser más que un simple momento cósmico. Este descubrimiento de un Universo en expansión significaba que *"... la temporalización de la geometría sustituía a la geometrización del tiempo."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 13). De esta manera, la concepción de un modelo cosmológico sobre los supuestos y valoraciones que la ciencia clásica realiza del tiempo *"... comenzó de hecho con el fracaso del ideal determinista allí donde parecía que debía tener su triunfo más sonoro: en la concepción de Einstein de un Universo estático, eternamente idéntico a sí mismo."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 207).

Si la cosmología se ha vuelto cosmogénesis, y si esta última a su vez

¹² Curiosamente se suele tener una visión del trabajo científico del físico muy apegada a laboratorios o a enormes maquinarias. Sin embargo, como nos recuerdan Prigogine y Stengers: *"Las teorías físicas deben su poder y su inventiva a la experimentación conceptual que permite su formalismo abstracto. Ello es debido a que los modelos a partir de los cuales se puede intentar y poner a prueba nuevas disposiciones conceptuales desempeñan un papel muy importante."* (1990a: 328).

plantea el problema de las condiciones térmicas que hicieron posible la génesis del Universo, es momento, sin duda, de conocer una versión termodinámica de la cuestión. Una versión que intentará mostrar de manera plausible que: *"Gracias al segundo principio es como se ha desarrollado el universo, y como la materia lleva consigo el signo de la flecha del tiempo."* (Prigogine, 1988: 73). Adelantándonos a la explicación que daremos, tal vez convendría llamar la atención sobre uno de los conceptos más ricos, a nuestro juicio, que se ha producido dentro del paradigma del orden a través del desorden: la *explosión entrópica*. De acuerdo con este concepto, la muerte térmica estaría situada, contrariamente a los supuestos clásicos, no al final de nuestro Universo, sino en el origen de éste. En este caso, el modelo cosmogénico propuesto por Prigogine, incorpora una libertad evolutiva de la que carecen la mayoría o al menos las más conocidas teorías cosmológicas¹³. La simetría entre el espacio-tiempo, por un lado, y la materia, por otro, es inexistente en el modelo de Prigogine. En dicho modelo: *"La transformación del espacio-tiempo en materia en el momento de la*

¹³ Al respecto, Prigogine y Stengers apuntan lo siguiente: *"Seguramente algunos han quedado satisfechos al ver en la singularidad asociada al Big Bang la "mano de Dios", el triunfo del relato de la creación bíblica, el acto único, fuera de la ciencia, del que sólo podemos reconstituir su existencia a partir del mundo que conocemos. Otros han intentado evitar esta situación inquietante. Una de las tentativas más notables en este sentido fue el modelo cosmológico del "steady state Universe" de Bondi, Gold y Hoyle.*

El modelo del "steady state Universe" supone el principio cosmológico "perfecto". Si en el universo del modelo standard todos los observadores contemporáneos ven el mismo Universo, en éste no solamente no hay lugar privilegiado sino que tampoco hay tiempo privilegiado. Cualquier observador, en el pasado y en el futuro, atribuiría al Universo los mismos valores de temperatura y de densidad de la materia. El universo no tiene edad. El modelo del "steady state Universe" describe de hecho una expansión exponencial del Universo acoplada a una permanente creación de materia. La sincronización entre expansión y creación permite mantener en el Universo una densidad constante de materia-energía. Se trata así de un Universo eterno, sin edad, pero en estado de continua creación.

Una consecuencia del modelo del "steady state Universe" ha sido muy poco subrayada: es cierto que este modelo elimina la consecuencia más notable del modelo standard, la posibilidad de definir una "edad" del Universo; pero la adición, en el segundo miembro de la ecuación de Einstein, de un término que corresponde a la creación de materia implica por otra parte que la evolución cosmológica ya no es conservativa en sentido termodinámico. La relación de mutua implicación entre creación y expansión define una flecha del tiempo, una irreversibilidad intrínseca que es la de la creación de materia, es decir, también de entropía.

El Universo de Einstein no tenía edad ni flecha del tiempo; el del modelo standard tiene una edad pero no flecha del tiempo; el del steady state tiene una flecha del tiempo pero no edad. El modelo que nosotros vamos a proponer es el de un Universo que tiene a la vez edad y flecha del tiempo." (1990b: 170-171).

inestabilidad del vacío corresponde a una explosión de entropía, a un fenómeno irreversible." (Prigogine, 1991: 71-72).

En este sentido, en el modelo desarrollado por Prigogine nos encontramos con que la materia aparece como una "contaminación" del espacio-tiempo, una materia que, como ya sabemos, contiene una flecha del tiempo que viene de la mano del segundo principio de la termodinámica. Ciertamente, el modelo einsteniano "... *había integrado ya el espacio-tiempo y la materia, pero de ésta sólo había retenido su definición newtoniana en términos de masas e interacciones.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 176). En consecuencia, la materia del modelo cosmológico einsteniano no daba cuenta de manera intrínseca de la flecha del tiempo, mientras que en el modelo de Prigogine, lo venimos viendo, al no compartir el postulado de reversibilidad de la ciencia clásica, una vez introducida la materia en el Universo, va de suyo la existencia de una flecha del tiempo. Ahora bien, esta materia regida por el segundo principio de la termodinámica aparece una vez "rasgado" el tejido coherente del espacio-tiempo. Sin embargo, ¿cómo introducir la "condensación" de la materia a partir del vacío espacio-tiempo?

Pues bien, partamos de la hipótesis del conocido como Universo de Minkowski, es decir, de un Universo vacío de curvatura nula; vacío que tendría como referente al vacío de la mecánica cuántica, es decir, todo lo contrario de lo que podríamos considerar un vacío como equivalente a la nada. Dispondremos, en consecuencia, de un vacío que contiene, virtualmente, todas las partículas posibles; partículas que se actualizan y desaparecen continuamente. De tal modo que estas *fluctuaciones* de energía/masa que se producen incesantemente pueden provocar la inestabilidad del vacío que constituye el Universo primordial de Minkowski¹⁴. Así, como apuntan

¹⁴ En efecto, la teoría que nos propone Prigogine: "*Hace comenzar el universo de una inestabilidad, concepto muy distinto al de singularidad. En el caso de una inestabilidad, la aparición del universo se puede comparar a un cambio de fase. El universo, como nosotros lo vemos, es entonces el resultado*

Prigogine y Stengers: "*Si una partícula virtual de masa superior a un determinado umbral (aproximadamente cincuenta veces la masa del protón) aparece, ella desencadenará un mecanismo cooperativo fuertemente no lineal.*" (1990b: 179-180). Este *mecanismo cooperativo* extraería la energía suficiente para la materialización de nuevas partículas mediante la creación de un campo gravitatorio que terminaría por inducir una curvatura en el espacio-tiempo. De este modo: "*El Universo que conocemos habría nacido así de la amplificación de una fluctuación que "desgarra" el espacio-tiempo de Minkowski, de una producción irreversible de partículas masivas y de la curvatura del espacio-tiempo.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 180).

En este modelo nos encontramos, por tanto, no con un *Big Bang* sino con una inestabilidad a partir de la cual se crea la materia¹⁵. Una inestabilidad que desarrolla un *proceso disipativo* de energía gravitatoria que, como ya estamos acostumbrados, no necesaria e indefectiblemente nos conduce hacia la destrucción de estructuras, hacia la desorganización progresiva, sino que, también, lo hace en dirección hacia el reconocimiento de la evolución, hacia la constatación de la flecha del tiempo y, en definitiva, hacia la posibilidad de creación de nuevas estructuras. La inestabilidad que crea el universo, el no equilibrio latente en él, nos abre a un tiempo que es "... *el hilo conductor que hoy nos permite articular nuestras descripciones del*

de una transformación irreversible, y proviene de "otro" estado físico.

Quisiera en primer lugar explicar de qué inestabilidad se trata. Sigo aquí los trabajos de Brout, Englert y Gunzig. Ellos parten de la idea de un acoplamiento entre un campo de gravitación y un campo de materia. Las ecuaciones no lineales que corresponden a este acoplamiento admiten diferentes tipos de soluciones.

Una solución trivial es el vacío: ni materia ni gravitación. Pero el análisis de esta solución muestra que es inestable con respecto a la producción de partículas de masa suficientemente grande. Podemos representar este vacío como un vacío fluctuante, que produce masas ligeras o pesadas. Cuando la masa producida alcanza un valor del orden de cincuenta veces la masa de Plank, el vacío se vuelve inestable y se transforma en un sistema materia-gravitación, es decir, en un universo." (1991: 69).

¹⁵ Como observa Prigogine: "*Por este camino llegamos a un resultado inesperado: el universo no poseería un estado fundamental estable. De esto se deriva que el estado fundamental (el vacío) puede disminuir su energía emitiendo agujeros negros, de la misma manera en que un átomo puede pasar de un estado excitado a su estado fundamental emitiendo fotones. Este fenómeno es evidentemente irreversible.*" (1991: 72).

Universo en todos los niveles." (Prigogine y Stengers, 1990b: 161). Un tiempo que nos muestra una flecha, una dirección privilegiada cada vez más creíble en los distintos niveles físicos, sean estos cósmicos o cuánticos¹⁶.

De esta manera, acabamos de ver cómo es posible la incorporación de la flecha del tiempo a un campo en el que tradicionalmente ha estado ausente: la cosmología¹⁷. Finalmente, por lo que al nivel macroscópico de la termodinámica hace referencia, hemos tenido ocasión de contrastar la existencia de una flecha del tiempo, incluso para el estado de equilibrio donde la ciencia clásica había establecido su bastión dentro de la termodinámica. Hoy día, mediante la dinámica de correlaciones resulta insostenible mantener a la flecha del tiempo excluida de este ámbito. Así, ahora se hace posible mantener que el no-equilibrio se muestra no como el creador de la flecha del tiempo sino como su revelador macroscópico ya que *"... es el equilibrio el que impide que la flecha del tiempo, siempre presente en el nivel microscópico, tenga efectos macroscópicos."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 131).

¹⁶ Sobre la existencia de la flecha del tiempo en el nivel atómico estudiado por la mecánica cuántica, anotamos la siguiente observación de Prigogine y Stengers: *"El átomo en interacción con el campo que él mismo induce no constituye de hecho un sistema integrable y no puede ya ser representado por la evolución de una función de onda de la misma forma que un sistema clásico caracterizado por puntos de resonancia no puede ser caracterizado por una trayectoria. Aquí está la falla que escondía el impresionante edificio de la mecánica cuántica. A partir de ella se hace posible una modificación de esta teoría, el abandono de la noción de función de onda en favor de una descripción con ruptura de simetría temporal que da sentido intrínseco a la vida media, es decir, al suceso cuántico. Algunas consecuencias observables de tal modificación deberían poder ser confirmadas o refutadas experimentalmente en un futuro próximo. Si fueran confirmadas podríamos afirmar que la flecha del tiempo, lejos de ser una propiedad fenomenológica que caracteriza un sistema macroscópico -como, por ejemplo, un aparato de medida- marca ya el más sencillo de los objetos cuánticos, el átomo de hidrógeno."* (1990b: 206).

¹⁷ En todo caso: *"No podemos pensar en un nacimiento absoluto del tiempo. Podemos hablar del tiempo de nuestro nacimiento, del tiempo de la fundación de Roma, o del tiempo de la aparición de los mamíferos, e incluso del tiempo del nacimiento del Universo. Pero la cuestión de saber "cuando empezó el tiempo" escapa más que nunca a la física, como sin duda escapa también a las posibilidades de nuestro lenguaje y nuestra imaginación. No podemos pensar el origen del tiempo sino solamente las "explosiones entrópicas" que lo presuponen y que son creadoras de nuevas temporalidades, productoras de nuevas existencias caracterizadas por tiempos cualitativamente nuevos. El tiempo "absoluto" que precede a toda existencia y todo pensamiento nos sitúa así en ese enigmático lugar que reaparece una y otra vez en la tradición filosófica, entre el tiempo y la eternidad."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 187).

III.2. LA IRREVERSIBILIDAD COMO CONDICIÓN MISMA DEL CONOCIMIENTO.

"La física de los sistemas disipativos plantea que la irreversibilidad no puede ser únicamente una propiedad fenomenológica, determinada por las aproximaciones que introducimos en nuestro modo de describir la Naturaleza." (Prigogine y Stengers, 1990b: 15). Ésta es, sin duda, la brecha que separa la concepción y valoración de la irreversibilidad como característica fundamental de determinados procesos de nuestro Universo, tal y como es contemplada por la termodinámica, frente a su catalogación como un producto de nuestra ignorancia de las condiciones iniciales de un sistema, como es el caso de la ciencia clásica. En efecto, *reversibilidad* y *determinismo* son dos propiedades que definen y cualifican los sistemas dinámicos clásicos e incluso las ecuaciones de los sistemas cuánticos¹⁸.

Como se recordará, a través del llamado *principio de razón suficiente*, la ciencia clásica establecía una conexión básica entre la definición local de un sistema, es decir, la identificación que para un sistema conocido suponía el poder atribuir a una *causa* plena el *efecto* total del cambio en la evolución de ese sistema, con la simetría en el tiempo que significaba la equivalencia *reversible* entre causa y efecto¹⁹. De tal modo que la *irreversibilidad* entrañaba siempre, en la perspectiva clásica, una falta de conocimiento, bien del estado local y de la ley de evolución del sistema dinámico, bien de la

¹⁸ A este respecto, recordamos aquí el dicho según el cual: *"Todo viene dado", esta expresión a menudo meditada por Bergson resume la dinámica y la realidad que ésta describe; todo viene dado por el dato inicial; la ley general de evolución dinámica no permite ninguna predicción particular en tanto que uno de los estados del sistema no esté definido; en cuanto lo está, la ley determina completamente el sistema, permite deducir su evolución y calcular su estado en cualquier instante anterior o posterior.* (Prigogine y Stengers, 1990a: 89).

¹⁹ Concretamente: *"La equivalencia entre causa y efecto implica la reversibilidad de las relaciones entre lo que se pierde y lo que se crea. Un móvil que desciende por un plano inclinado pierde altura pero adquiere una velocidad que (en ausencia de rozamiento) es la que necesitaría para subir de nuevo hasta su altura inicial."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 29-30).

causa del cambio en su ley de evolución, que no estaría -por tanto- definida plenamente. A estos defectos sería a los únicos que cabría atribuir la imposibilidad de hacer volver al sistema dinámico a cualesquiera de alguno de sus estados pasados o futuros. La *simetría* entre pasado y futuro existiría, por tanto, siempre que el conocimiento de los sistemas fuese completo.

"En la concepción clásica, la irreversibilidad estaba ligada a la entropía, y ésta a su vez a una probabilidad." (Prigogine, 1991: 95-96). La entropía supuso un duro golpe para la ciencia clásica, la existencia de una magnitud que postulaba la existencia de unos estados más probables que otros conllevaba la *ruptura de simetría* entre los diferentes estados posibles de un mismo sistema. Y este hecho marcaba una dirección en el tiempo, una flecha temporal, que rompía la equivalencia entre el pasado y el futuro del sistema. La *irreversibilidad*, sin embargo, no sólo se asociaba con la tendencia del conjunto del sistema hacia un particular estado, el llamado estado de equilibrio; la irreversibilidad, en lógica correspondencia con la conexión que se establecía entre conocimiento de un sistema y reversibilidad entre sus estados, pasaba a identificarse con la ignorancia del científico respecto del estado del sistema²⁰. Así es como, en la perspectiva clásica, puede sostenerse que: *"De esta manera, el aumento de la entropía no describe el propio sistema, sino solamente nuestro conocimiento de él."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 238).

²⁰ Prigogine y Stengers desarrollan un ilustrativo ejemplo, tomado a su vez de Gibbs, acerca de la interpretación subjetiva de la irreversibilidad. Dice así: *"... mezclamos una gota de tinta con agua pura. El agua rápidamente se vuelve gris. Este proceso es considerado como un ejemplo típico de proceso irreversible. Sin embargo, para un observador con sentidos lo suficientemente desarrollados para poder percibir no sólo el líquido macroscópico, sino también cada una de sus moléculas, el líquido nunca se volvería gris. El observador podría seguir las trayectorias cada vez más deslocalizadas de las "moléculas de tinta", que inicialmente se encontraban concentradas en una pequeña región del sistema. La idea de que el medio heterogéneo se ha hecho irreversiblemente homogéneo, es decir, que el agua "se ha vuelto gris" sería, bajo este punto de vista, una ilusión debida a la falta de precisión de nuestros instrumentos de observación. Nuestro observador vería únicamente movimientos reversibles, nada de gris, sólo "blanco" y "negro"."* (1990a: 238).

La irreversibilidad en esta perspectiva permanece ligada al observador, se trata, por consiguiente, de una interpretación subjetiva de la misma basada en el crecimiento de la ignorancia de aquél sobre el sistema en cuestión²¹. En este sentido: *"El aumento de entropía es, por tanto, indicativo de la ruptura de la información disponible."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 239). Esta cohesión entre irreversibilidad y acto de observación que establecía la dinámica clásica es aumentada, si cabe, con la mecánica cuántica. En efecto, en la mecánica cuántica se exige describir la observación como una modificación irreversible de lo que es observado. Pero, en este aspecto, la mecánica cuántica prosigue la interpretación subjetiva de la irreversibilidad asociándola no al objeto cuántico sino al dispositivo experimental, observador incluido²².

Ciertamente, la mecánica cuántica permanece en el límite de la perspectiva clásica ya que, por un lado, reconoce el carácter intrínsecamente irreversible de toda medida pero, por otro lado, sólo es capaz de reconocer la irreversibilidad ligada al dispositivo de medida y no la asociada al objeto cuántico mismo. Ello no obstante, el avance de la mecánica cuántica es importante toda vez que permite mostrar que la ciencia que trabaja, investiga

²¹ Al respecto, Prigogine y Stengers escriben de este modo: *"Por consiguiente, en esta interpretación subjetiva de la irreversibilidad como crecimiento de la ignorancia (aún más reforzada por la ambigua analogía con la teoría de la información) es el observador quien es el responsable de la asimetría temporal que caracteriza al sistema. Puesto que el observador no puede, de un simple vistazo, determinar las posiciones y velocidades de todas las partículas que componen un sistema complejo, no puede tener acceso a la verdad fundamental de este sistema, no puede conocer el estado instantáneo que, simultáneamente, contiene su pasado y su futuro, ni captar la ley reversible que le permitiría predecir su evolución de un instante al siguiente. Tampoco puede manipular el sistema como el diablillo inventado por Maxwell, que es capaz de separar partículas rápidas y lentas y de imponer al sistema una evolución anti-termodinámica que conduzca a una distribución de temperatura cada vez menos uniforme."* (1990a: 239).

²² En efecto, como se indica a continuación: *"Irreversibilidad y probabilidades aparecen como relativas a las condiciones bajo las que puede ser observado el mundo cuántico. Por otra parte, algunos físicos eminentes no han dudado, siguiendo a von Neumann, en hacer del hombre consciente el responsable de la producción irreversible de los fenómenos observables que él mide."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 136).

y experimenta con sus objetos genera irreversibilidad²³. De este modo, la ciencia clásica en su ideal de reversibilidad entra en contradicción con cualquier intervención, manipulación o medida que desee realizar en la mayor parte de sus objetos, ya que la realización de estos actos, en sí mismos, son irreversibles a la luz de la mecánica cuántica. Paradójicamente, una vez más, la ciencia clásica, *"... la ciencia activa se encuentra, por definición, extraña al mundo reversible que ella describe, cualquiera que sea, por otra parte, el grado de plausibilidad intrínseca de tal descripción."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 90).

Ahora bien, aun cuando desde la perspectiva clásica se llegue a reconocer la irreversibilidad, este reconocimiento permanece ligado al acto de observación²⁴. En este sentido, la mecánica cuántica aporta el matiz que hace de la irreversibilidad no un error o una imperfección de la medida, como es el caso de la dinámica clásica, sino la condición sin la cual nos es imposible averiguar algo del objeto cuántico. Ciertamente existe un avance en el paso de la dinámica clásica a la mecánica cuántica en lo que a la consideración de la irreversibilidad hace referencia. Es más, el determinismo que caracteriza a la dinámica clásica sufre un serio revés en la mecánica cuántica, es decir: *"El concepto de trayectoria ha sido reemplazado por el de "paquete de ondas" (o función de onda), pero el movimiento del paquete de ondas sigue siendo reversible. De nuevo el presente implica tanto el futuro como el pasado."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 226).

²³ Así: *"La mecánica cuántica actual constituye sin duda el mejor símbolo de una física desgarrada entre el tiempo y la eternidad. Para comprender cómo el mundo transparente de las trayectorias dinámicas hace ininteligible la posibilidad de su observación necesitamos liberarnos de la representación ideal del astrónomo que observa un mundo indiferente a sus medidas, y recordar que toda medida supone la irreversibilidad de una marca."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 204).

²⁴ En efecto, como nos recuerdan Prigogine y Stengers: *"Este es el nudo del problema. Tanto la irreversibilidad como el recurso a las probabilidades tienen su origen, según la mecánica cuántica, en el acto de observación. Estas nociones se definen entonces como ligadas a la intervención humana y no como pertenecientes de modo intrínseco al objeto observado."* (1990b: 136).

No obstante, la mecánica cuántica no llega a alcanzar una visión de la irreversibilidad ligada de manera intrínseca a un cierto tipo de objetos, por otra parte, los más interesantes desde el punto de vista del interés humano dado que están relacionados con el devenir²⁵. Tampoco en la teoría de la relatividad encontramos un lugar para la irreversibilidad, al margen de su relación con el observador. Relatividad y mecánica cuántica trabajan, por consiguiente, con el postulado de *reversibilidad* propio de la ciencia clásica, si bien han abandonado el de *objetividad*. Sin embargo, lo hemos visto en el punto anterior, ya es posible una teoría cosmogénica con independencia de la reversibilidad que postulan las ecuaciones desarrolladas por Einstein en su teoría de la relatividad²⁶. Se trata de una nueva teoría que permite no sólo fechar la edad del Universo sino dar cuenta, además, de la existencia de una

²⁵ En efecto, como afirma Prigogine: *"En este universo newtoniano, toda actividad coherente es milagro, el caos parece ser la regla, y, sin embargo, las especies vivas se han diversificado progresivamente, los seres vivos se han hecho más complejos, vinculados entre sí por múltiples interacciones delicadamente dispuestas. A pesar de todo, la misma actividad del científico, actividad de inquirir, de experimentación, de estrategia exploratoria, supone ese devenir que la ciencia niega."* (1988: 79).

²⁶ Sobre la postura de Einstein en defensa de la reversibilidad, Prigogine y Stengers nos recuerdan dos anécdotas de este memorable científico: *"En nuestra época, es Einstein el que encarna con más fuerza la ambición de eliminar el tiempo y eso, a través de todas las críticas, de todas las protestas, de todas las angustias que levantaron sus afirmaciones absolutas. Hay una escena muy conocida, que es la que ocurrió en la Sociedad de Filosofía de París, el 6 de abril de 1922. Henri Bergson intentó defender, en contra de Einstein, la multiplicidad de tiempos vividos, coexistentes en la unidad de un tiempo real, defender la evidencia intuitiva que nos hace pensar que esas duraciones múltiples participan de un mismo mundo. Leamos la contestación de Einstein: rechaza sin apelación, por incompetencia, el "tiempo de los filósofos", seguro de que en ninguna experiencia vivida puede salvar lo que niega la ciencia. Más notable todavía es quizá el intercambio de cartas entre Einstein y el más íntimo de sus amigos, el de su juventud de Zurich, Michele Besso. Besso era un científico, pero al final de su vida se mostró preocupado cada vez con más intensidad por la filosofía, la literatura, todo aquello que teje el significado de la existencia humana. No cesó desde entonces de preguntar a Einstein: "¿Qué es la irreversibilidad? ¿Cuál es su relación con las leyes de la física?" Y Einstein le contestó, con una paciencia que no tuvo más que para este amigo: la irreversibilidad no es más que una ilusión suscitada por condiciones iniciales improbables. Este diálogo sin fin se repitió hasta que en una última carta, a la muerte de Besso, Einstein escribió: "Michele me ha precedido de poco para irse de este mundo extraño. Eso no tiene importancia. Para nosotros, físicos convencidos, la diferencia entre pasado, presente y futuro no es más que una ilusión, aunque sea tenaz."* (1990a: 303).

flecha del tiempo²⁷. Se trata ahora, en consecuencia, de poder compatibilizar la irreversibilidad, de descubrir la flecha del tiempo, también en el nivel cuántico del que ha quedado ausente.

El problema de la medida aparece en mecánica cuántica estrechamente unido al del observador y a la subsiguiente marca irreversible que deja el acto de observación en el fenómeno cuántico. En este sentido, la mecánica cuántica nos plantea dos tipos de evolución en su objeto: por un lado, la evolución discontinua e irreversible que se produce en el acto de observación y medida y, por otro lado, la evolución reversible y continua con la que la ecuación de Schrödinger describe al objeto cuántico. Ciertamente se han planteado diversas soluciones para tratar de compatibilizar ambas clases de tiempos. Así, algunos teóricos han continuado insistiendo en la irreversibilidad como en el tiempo que es incorporado por el observador, otros, por el contrario, plantean la necesidad de añadir otros términos a la ecuación de Schrödinger para completarla con la irreversibilidad de la medida. Sin embargo, ni para Prigogine ni para Stengers las soluciones expuestas son satisfactorias. En efecto, para estos autores: *"El problema adicional planteado en mecánica cuántica, la coexistencia de la irreversibilidad, es indicativo del hecho de que la idealización clásica que llevaba a describir el mundo dinámico como "aislado" es imposible en lo que concierne al mundo microscópico."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 266).

²⁷ La sucesión eterna de Universos que permite plantear hoy día la irreversibilidad y el segundo principio de la termodinámica: *"Simboliza más bien el hecho de que la irreversibilidad está en adelante despojada de las connotaciones negativas que constitulan la herencia de la física del siglo XIX, en cuyo seno el segundo principio de la termodinámica se limitaba a anunciar la impotencia humana para someter los procesos físico-químicos al principio de razón suficiente. En un principio, la distinción entre el antes y el después se impuso en la física como un defecto una desviación del ideal. Con la concepción cosmológica de Boltzmann esta desviación se identificó con la propia existencia del Universo: prueba por reducción al absurdo de que ni nuestro conocimiento ni nuestra existencia sería concebible sin la irreversibilidad, en un mundo regido por la sola razón suficiente. Hoy, la irreversibilidad ya no significa desviación del ideal sino el devenir en tanto que él supone la flecha del tiempo, en tanto que no puede ser comprendido a partir de la igualdad reversible de causa y efecto, pero en cambio permite comprender como singulares las situaciones en las que el ideal de esta igualdad pudo dar a la física sus primeros objetos."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 209).

En este sentido, sendos autores asumen la posición de Bohr cuando afirmaba que el sistema cuántico no podía separarse de la descripción macroscópica de los aparatos de medida y, por consiguiente, de los conceptos y teorías a ellos ligados. Todo lo cual conduce a reconocer que: *"La ecuación de Schrödinger no describe un nivel fundamental de la realidad; presupone el mundo macroscópico al que pertenecemos."* (Ibídem). Toda descripción cuántica, por consiguiente, es parcial pues no responde de la totalidad del sistema en cuestión. Es decir, la descripción cuántica no logra jamás acceder a la verdad fundamental de su objeto. Lo que se obtiene, el resultado de la observación, permanece siempre en relación directa con el dispositivo experimental elegido para plantear una cuestión y no otra al objeto cuántico.

En definitiva, no cabe descomponer o separar, en el acto de observación, al instrumento de medida respecto del objeto cuántico en sí. Siempre lo que obtengamos será *"... el fenómeno cuántico resultante de la operación de medición a lo que podemos asignar magnitudes cuyos valores numéricos mediremos."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 259). De tal modo que el número cuántico obtenido en cualquier proceso de observación, en este nivel, sólo caracteriza al sistema *"... en el estado propio que hemos escogido para producirlo y describirlo, planteándole experimentalmente tal cuestión y no tal otra."* (Ibídem). Ahora bien, estos hechos ocurren cuando el suceso cuántico es resultado de la interacción con el dispositivo experimental. Ciertamente, la irreversibilidad generada por el dispositivo experimental es reconocida por la mecánica cuántica y forma parte de su acervo teórico tradicional. Ello no obstante, lo que Prigogine y Stengers tratan de mostrar es una irreversibilidad ligada al objeto cuántico en sí, con independencia del acto de observación.

Para ello, sendos autores, basan su argumentación en el abandono del modelo de los sistemas integrables tanto en mecánica clásica como en

mecánica cuántica²⁸. En efecto, este hecho, que hemos mostrado para la mecánica clásica mediante la específica consideración de *comportamientos caóticos* y *correlaciones* en los sistemas dinámicos, tiene pareja aplicación a los "... *sistemas cuánticos caracterizados por tiempos de vida media, o por comportamientos que corresponden a "colisiones", [...].*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 152)²⁹. Si la función de onda en la primera teoría cuántica se mostraba tan reversible en su evolución como el punto y la trayectoria lo eran en la dinámica clásica, ahora el átomo en interacción con su campo pierde en general el carácter controlable y reversible que le asigna la ecuación de Schrödinger³⁰. Ciertamente aún nos encontramos en los albores de una nueva teoría cuántica sin *función de onda*, que sería sustituida por descripciones de tipo cinético, pero ya se están llevando a cabo los trabajos que permitirán su formulación teórica y su subsiguiente contrastación empírica³¹.

²⁸ Sobre esta cuestión anotamos el hecho de que: "*La descripción dinámica, concebida según el modelo de sistema integrable, posee un símbolo: el diablillo imaginado por Laplace, capaz de observar en un instante dado la posición y velocidad de cada una de las masas constitutivas del universo y de deducir a partir de ahí la evolución universal, tanto hacia el pasado como hacia el futuro.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 108).

²⁹ Como han afirmado Prigogine y Stengers: "*De esta forma llegamos a una "síntesis" entre la primera teoría cuántica, que se nutrió esencialmente de la termodinámica estadística, y la segunda, que trató de dar una explicación puramente mecánica de los procesos que resultan del acoplamiento entre un átomo y un campo electromagnético. El átomo reversible de la mecánica cuántica es una idealización; la definición intrínseca del átomo es relativa al proceso disipativo que resulta de su acoplamiento con el campo. Las leyes reversibles se muestran, a partir de ahora, relativas a casos límites. Pero esta síntesis sólo es un primer paso. Queda por explorar un terreno inmenso. El mundo cuántico es un mundo de procesos cuya descripción debería, con el mismo derecho que la del acoplamiento entre el átomo y su campo, hacer explícita la flecha del tiempo. En todos los niveles, nuestras descripciones actuales hacen intervenir las nociones de resonancia y de colisión, y podemos esperar reencontrar allí fenómenos intrínsecamente irreversibles.*" (1990b: 158).

³⁰ En efecto: "*Del mismo modo que nos es imposible, después de tiempos de evolución largos comparados con el tiempo de Lyapounov, preparar por inversión de velocidades un sistema de suerte que "remonte" hacia su estado inicial -es decir, lucha contra el olvido irreversible de las correlaciones creadas en las colisiones- también nos es imposible preparar un estado excitado de tal suerte que el átomo no pueda volver a su estado fundamental. Y en ambos casos esta pérdida de control se traduce por una descripción con simetría temporal rota y no local.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 154).

³¹ Cf. al respecto: Prigogine y Stengers 1990b: 155.

De este modo, se ve comprometida la interpretación habitual de la irreversibilidad por parte de la mecánica cuántica como perturbación debida al propio proceso de observación que *"... conduce, como ya sabemos, a la falsa situación en la que el sistema "en sí mismo", parece efectivamente estar caracterizado por valores bien definidos de todos los parámetros, aun cuando los valores de algunos de ellos se "enturbien" con la medida."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 260). En la perspectiva de la nueva mecánica cuántica, fenómenos como la radiación espontánea de partículas dan cuenta de una clase de irreversibilidad en el objeto cuántico que no es provocada por un dispositivo experimental. Por lo demás, esta clase de irreversibilidad intrínseca es un hecho que incluso tiene una trascendencia mayor en el campo de la física de las altas energías³². En efecto, el objeto propio de la física de las altas energías *"... no es otro que las cascadas de transformaciones, tanto más diversas cuanto más elevada es la energía, a lo largo de las cuales las partículas que entran en colisión disipan su energía creando otras partículas."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 157). En la física de las altas energías, la disipación de energía no sólo marca un sentido intrínseco a la irreversibilidad sino que, por si fuera poco, en esa dirección que cumple la segunda ley de la termodinámica, encontramos creación y novedad.

Para terminar, sólo nos queda destacar cómo el papel asignado a la irreversibilidad por la ciencia clásica estaba ligado, bien a la imperfección en

³² Así: *"Mientras que las leyes de la física clásica negaban la flecha del tiempo, hoy podemos afirmar que el devenir irreversible marca todos los entes físicos. La inversión respecto a la perspectiva tradicional que identificaba irreversibilidad y descripción fenomenológica es completa: si la experiencia confirma nuestras predicciones no existe ningún sistema cuántico estrictamente reversible. En esta perspectiva, el éxito de la descripción reversible de la mecánica cuántica tradicional, lejos de expresar una verdad "fundamental" acerca de lo real, refleja la particularidad de la interacción entre el átomo y el campo electromagnético, es decir, el pequeño valor de la estructura fina. El átomo es una estructura estable que sólo está marcada de manera casi imperceptible por el devenir irreversible del que participa. Esta particularidad refleja en sí misma la de nuestro Universo "tibio" en donde puede existir y estar aisladas las estructuras estables que son los átomos. En cambio, en el Universo caliente que fue, según las teorías actuales, el de los trescientos mil primeros años del Universo así como en las colisiones altamente energéticas que estudia la física de altas energías, la física debería hacerse ciencia de los procesos intrínsecamente irreversibles."* (Prigogine y Stengers, 1990b: 159).

la captación en un instante del estado de un sistema dinámico, bien al propio acto de observación que crea el suceso cuántico. Sin embargo, a lo largo de este punto hemos desarrollado argumentos tendentes a mostrar el carácter intrínseco de la irreversibilidad que, surgida en el ámbito de la termodinámica, marca una diferencia entre el antes y el después. Una ruptura de simetría en la evolución de cualquier sistema que señala una dirección privilegiada que tiene, a su vez, fundamento en el segundo principio de la termodinámica. Una diferencia entre el antes y el después, que puede comprobarse por la dinámica de correlaciones que se crean entre las partículas de un sistema dinámico debido a las colisiones que se producen entre ellas. Unas colisiones que, también, se producen en la física de las altas energías y que resultan creativas, productoras de nuevas partículas y disipadoras de energía, es decir, respetuosas del segundo principio. La irreversibilidad, hoy, no es tanto la prueba de un deficiente conocimiento, como lo fue en la ciencia clásica donde el *diablillo de Laplace* era capaz de calcular sin error el estado de un sistema, y por tanto de calcular su pasado y su futuro, cuanto la condición indispensable para la evolución que ha conducido a la complejidad de seres capaces de observar y de conocer³³.

³³ Sobre el *diablillo de Laplace* que constituye el ideal de esa ciencia para la cual la irreversibilidad no es más que el producto de un defectuoso cálculo del estado inicial del sistema, un producto por tanto de la finitud del observador, Prigogine y Stengers escriben lo siguiente: "*El problema del diablillo de Laplace no es sólo el de la posibilidad efectiva de una previsión determinista del curso de las cosas, es más bien el problema de su posibilidad de principio, y esta posibilidad de principio de una preciencia total está implicada por la dualidad de la ley dinámica y de la descripción de las condiciones iniciales.*

En efecto, el hecho de que podamos describir un sistema dinámico como sometido a una ley determinista, incluso si la ignorancia práctica del estado inicial excluye toda previsión determinista, permite distinguir entre la "verdad objetiva" del sistema, tal como lo contempla el diablillo de Laplace, y el hecho de nuestra ignorancia. En estas condiciones, la idea de que la definición instantánea de un sistema no basta para determinar su evolución, de que el determinismo físico tiene elementos que no son los límites de nuestras capacidades de observación y de cálculo, parecía que debía ser afirmada no solamente en contra del diablillo de Laplace, sino en contra de la dinámica. En el marco de la dinámica clásica, la descripción determinista puede ser inaccesible en la práctica, no por ello deja de perfilarse como un límite que define la serie de las descripciones de precisión creciente.

Es precisamente la dualidad leyes-condiciones iniciales la que, como veremos, se encuentra hoy en tela de juicio: la idea de que el concepto de estado inicial de un sistema es siempre válido, cualquiera que sea la ley dinámica de este sistema, la idea de que la determinación de las condiciones iniciales es una operación teóricamente concebible para todo sistema dinámico, está

hoy abandonada. Pero volveremos más tarde sobre esta brecha al fin descubierta en el edificio de la dinámica clásica y sobre la muerte al fin sobrevenida del diablillo de Laplace. La ciencia clásica, en lo que a ella atañe, desde el momento en que aceptaba la verdad de la descripción dinámica, debía concluir en el determinismo universal, en el carácter ilusorio de los procesos que constituyen el mundo que habitamos y que nos han producido a los seres vivos y parlantes." (1990a: 108-109).

CAPÍTULO IV

UN PROCESO DE AUTO-ORGANIZACIÓN DENOMINADO ESTRUCTURA DISIPATIVA: EL ORDEN POR FLUCTUACIONES

UN PROCESO DE AUTO-ORGANIZACIÓN DENOMINADO ESTRUCTURA DISIPATIVA: EL ORDEN POR FLUCTUACIONES

A lo largo de los capítulos precedentes, hemos tenido ocasión de conocer algunas distinciones con que la función *entropía* nos permitía caracterizar a los sistemas físicos. Uno de los criterios es el que nos clasificaba a los sistemas como situados en el *equilibrio* o en el *no-equilibrio* termodinámico; dentro de este último estado a su vez, encontrábamos una subclasificación de los sistemas según se hallasen éstos en el no-equilibrio lineal -también llamado estado próximo al equilibrio- o en una situación propia de sistemas alejados del equilibrio. Como se recordará, un sistema en el equilibrio termodinámico es un sistema que internamente se corresponde con una distribución de sus partículas máximamente desorganizada; en él, el valor de la entropía es máximo. Por su parte, un sistema en el no-equilibrio termodinámico era aquél que no había maximizado aún su función entrópica. En este último caso, puede ser que el sistema se encuentre próximo al equilibrio, si es así, el sistema conserva aún una cierta cantidad de energía que permite a sus partículas una evidente, aunque mínima, actividad; o bien, que el sistema se halle muy alejado del equilibrio, en cuyo caso, la actividad de las partículas del sistema será considerable y nada despreciable.

Dicha actividad, que se desarrolla en cualquier sistema que se encuentre en el no-equilibrio termodinámico, se materializa en unas *fluctuaciones* respecto a los valores medios que caracterizan al sistema. Presión, volumen, temperatura, etc. serían las variables que caracterizarían, como decimos, a un sistema termodinámico. Pues bien, con las pequeñas variaciones que se producen en el sistema respecto a los valores de esas variables ocurre con ellas que en el estado de no-equilibrio lineal, es decir, en el estado próximo al equilibrio termodinámico, esas fluctuaciones terminan siendo absorbidas sin mayor problema por los valores medios que describen el estado del sistema próximo al equilibrio. Sin embargo, también en el no-equilibrio termodinámico, solo que muy lejos del equilibrio, las pequeñas fluctuaciones que se registran pueden tener un comportamiento muy diferente a las que se originan cuando el sistema únicamente está próximo al equilibrio aunque no en él¹.

En efecto, en condiciones muy alejadas del equilibrio termodinámico, cuando el sistema está abierto a flujos de materia o energía, se ha descubierto que las fluctuaciones que se producen en esa clase de sistema, lejos de poder ser subsumidas o integradas en los valores medios del sistema ocurre con ellas que son capaces de generar nuevas estructuras. Unas estructuras que engendran un orden, el llamado *orden por fluctuaciones*. El cual no tienen otra

¹ En este sentido, Prigogine realiza la siguiente observación: "*El interrogante que la termodinámica de los procesos irreversibles ha de plantearse es: ¿en qué condiciones pueden aparecer estructuras, desarrollarse, ser destruidas? Como resultado de los trabajos de nuestro grupo en Bruselas y en Austin, estamos en posición de responder a esta pregunta, y la clave del problema estriba en el equilibrio [sic] que resulta ser origen de orden.*

En los sistemas en que se producen constantemente intercambios de energía y de materia con el medio, el equilibrio no es posible, por darse procesos disipativos que continuamente producen entropía. El segundo principio de la termodinámica permite prever la evolución del sistema hacia un estado estacionario, cuyas propiedades constituyen de hecho la extrapolación de las propiedades del estado de equilibrio: inercia máxima, y no total como en el equilibrio, olvido de las condiciones iniciales, desorganización. No obstante, a partir de cierta distancia del equilibrio, de cierta intensidad de los procesos disipativos, el segundo principio ya no sirve para garantizar la estabilidad de este estado estacionario. Al contrario, podemos definir para ciertos sistemas un "umbral", una distancia crítica respecto al equilibrio, a partir de la cual el sistema se hace inestable, a partir de la cual una fluctuación puede eventualmente no remitir, sino aumentar." (1988: 87).

finalidad que disipar energía, esto es, que no tienen otro objetivo más que el de conducir lo más rápidamente posible al sistema hacia su estado de equilibrio termodinámico. De aquí, que resulte lógico que a estas estructuras tan respetuosas del segundo principio de la termodinámica, que como se recordará tuvo sus orígenes en el estudio de las pérdidas de energía, en la disipación y caída del rendimiento de la energía, hayan sido denominadas *estructuras disipativas*².

Por consiguiente, las estructuras disipativas constituyen un proceso de *auto-organización* de la materia. Un fenómeno que tiene lugar en sistemas alejados del equilibrio donde, como vemos, los sistemas físicos se muestran incapaces de lograr que las perturbaciones queden como tales y, por tanto, regresen y sean subsumidas, como meras fluctuaciones, por los valores medios del sistema. En definitiva, se puede afirmar que, si el sistema estable se caracteriza por una respuesta a las perturbaciones tal que ésta le permite volver a sus condiciones iniciales, previas a la perturbación; los sistemas alejados del equilibrio se caracterizan, por el contrario, porque pueden volverse inestables en relación con las perturbaciones que le afectan. En este caso, la respuesta del sistema inestable a las perturbaciones que no logra superar hace que éste se enfrente ante lo que se conoce como un *punto de bifurcación*. Como nos señala Prigogine: "*En este punto, al volverse inestable la solución primitiva, se producen nuevas soluciones que pueden corresponder*

² A este respecto Prigogine señala que: "*Hemos denominado "orden por fluctuaciones" al orden generado por el estado de no equilibrio. Efectivamente, cuando, en vez de desaparecer, una fluctuación aumenta dentro de un sistema, más allá de umbral crítico de estabilidad, el sistema experimenta una transformación profunda, adopta un modo de funcionamiento completamente distinto, estructurado en el tiempo y en el espacio, funcionalmente organizado. Lo que entonces surge es un proceso de auto-organización, lo que hemos denominado "estructura disipativa". Podemos decir que la estructura disipativa es la fluctuación amplificada, gigante, estabilizada por las interacciones con el medio; contrariamente a las estructuras en equilibrio, como los cristales, la estructura disipativa sólo se mantiene por el hecho de que se nutre continuamente con un flujo de energía y de materia, por ser la sede de procesos disipativos permanentes.*" (1988: 88).

a un comportamiento muy distinto de la materia." (1988: 25)³.

Los puntos de bifurcación suponen igualmente un mayor respaldo, si cabe, a las descripciones probabilísticas e irreversibles que a la termodinámica, como primera ciencia de la complejidad, le habían supuesto un distanciamiento respecto a los postulados de determinismo y reversibilidad de la ciencia clásica. En efecto, en los estados estables, el científico solía encontrarse con un mayor margen para la realización de descripciones deterministas. Sin embargo, como nos recuerda Prigogine: "*... en proximidad a la inestabilidad, las fluctuaciones desempeñan un papel fundamental: en general, existen varios estados que el sistema puede adoptar más allá de una inestabilidad y son las fluctuaciones las que determinan el que ha de prevalecer.*" (1988: 106). Este hecho, curiosamente, es destacado por Prigogine como de particular interés para los sociólogos ya que, a través del mismo, se incorpora la idea de *historia* a la dinámica del sistema, sobre la base de los distintos caminos que las fluctuaciones pueden actualizar en situaciones de inestabilidad⁴.

³ En efecto, sobre este particular, Prigogine nos ilustra con el siguiente experimento: "*Un ejemplo de suma espectacularidad es la aparición de relojes químicos en condiciones alejadas del equilibrio. La demostración experimental de la existencia de relojes químicos es actualmente un experimento rutinario que se realiza en casi todos los cursos de química en colegios y universidades. Por lo tanto, es una demostración sencilla que, sin embargo, considero como uno de los experimentos más importantes del siglo. Explicaré por qué.*

En la prueba intervienen básicamente dos clases de moléculas. Las llamaremos especie A (moléculas rojas) y especie B (moléculas azules). A continuación, pensemos en cualquier tipo de colisiones caóticas que se producen al azar. En consecuencia, lo lógico es que el intercambio entre A y B produzca un color uniforme con eventuales retazos de rojo y azul. Esto no es lo que sucede con productos químicos idóneos en condiciones alejadas del equilibrio, sino que todo el sistema se vuelve rojo, luego azul y de nuevo rojo. Esto demuestra que las moléculas se comunican a grandes distancias y en tiempos macroscópicos. Cuentan con medios para señalarse recíprocamente su estado y reaccionar al unísono. Desde luego, es algo muy sorprendente. Siempre se había pensado que las moléculas interactuaban únicamente al estar sometidas a fuerzas de corto alcance y que cada una de ellas sólo estaba en contacto con sus vecinas. En este caso, por el contrario, el sistema actúa como un todo. Era tradicional asociar este comportamiento a los sistemas biológicos y ahora comprobamos que también se produce en sistemas no vivos relativamente simples." (1988: 25).

⁴ Así, Prigogine concluye que la materia en condiciones alejadas del equilibrio alcanza propiedades, en principio sólo asignadas a los sistemas vivos tales como *comunicación, percepción y memoria*. Como él mismo nos cuenta: "*La materia, en condiciones alejadas del equilibrio, adquiere básicamente nuevas propiedades: la posibilidad de comunicación en tiempos y distancias macroscópicos, ya mencionada,*

En consecuencia, con la termodinámica de los procesos irreversibles nos encontramos no sólo con una teoría física que puede reflejar los problemas ligados a la creatividad de la naturaleza, sino que, más ampliamente, nos encontramos con que lo que se está produciendo es un acercamiento de los postulados de la primera ciencia de lo complejo a aquellos aspectos tradicionalmente más vinculados y distintivos de las ciencias sociales y humanas: la *historia* y la *complejidad*. Así, Prigogine no duda en afirmar que: "... la termodinámica describe la génesis propiamente histórica de estructuras activas; parece ser que, por primera vez, el objeto de la física ya no es radicalmente distinto al de las ciencias humanas y que, por consiguiente, es posible un intercambio real entre estas disciplinas." (1988: 89). Lo que conduce a Prigogine a expresar su confianza en la inspiración que los trabajos en materia de estabilidad e inestabilidad, que se han realizado en las ciencias humanas, puedan hacer factible la eventual utilización de los conceptos y métodos propios de éstas al ámbito de la termodinámica. Como observamos, una auténtica inversión de los papeles que los postulados de la ciencia clásica asignaban a unas y otras disciplinas es lo que, entre otras consecuencias, ha venido de la mano de la termodinámica de los procesos irreversibles⁵.

la posibilidad de "percibir" pequeños efectos que conducen a una selección de patrón y, finalmente, la posibilidad de memoria correspondiente también a una sucesión temporal de diversas bifurcaciones. Es interesante que estas clases de propiedades siempre se hayan atribuido en el pasado a sistemas "vivos", pero vemos que hasta cierto punto son atribuibles incluso a sistemas "no vivos". (1988: 197-198).

⁵ En este sentido, Prigogine nunca ha dudado en asumir las conclusiones epistemológicas de sus hallazgos. Así, este científico escribe que: "Además, la importancia que atribuimos a los diversos fenómenos que observamos y describimos es bastante distinta, yo diría incluso que opuesta, a lo que sugiere la física clásica. En ella, como dije, los procesos básicos se consideraban deterministas y reversibles.

Los procesos que implican azar o irreversibilidad eran considerados excepciones, meros artefactos. Hoy, vemos por doquier el papel de los procesos irreversibles, de las fluctuaciones. Los modelos considerados por la física clásica nos parecen corresponder únicamente a situaciones límite que nosotros podemos crear artificialmente, como es el ejemplo de introducir materia en un recipiente y esperar que alcance el equilibrio.

Lo artificial es determinista y reversible. Lo natural contiene elementos esenciales de azar e irreversibilidad. Esto llama a una nueva visión de la materia en la que ésta ya no sea pasiva como la descrita en el mundo del concepto mecánico, sino asociada a actividad espontánea. Este cambio es tan

IV.1. CONDICIONES PARA LA EXISTENCIA DE NUEVAS ESTRUCTURAS: IRREVERSIBILIDAD, PROBABILIDAD Y COHERENCIA.

Como ya hemos tenido ocasión de comprobar, todo sistema aislado tiende a maximizar la entropía hasta alcanzar un máximo que le conducirá, tras un período más o menos breve, hacia el conocido estado de equilibrio, el cual se identifica en la escala microscópica como un estado que corresponde al máximo desorden. Con todo, existen lo que se llaman *estructuras de equilibrio* que, como su propio nombre indica, no realizan ningún tipo de actividad generadora de entropía. Además, estas estructuras existen sin necesidad alguna de intercambio de materia o energía con el mundo exterior. El modelo de una estructura de esta clase es el *cristal*. Tradicionalmente, el cristal ha sido considerado como el prototipo de *orden* por excelencia, no en vano, a la disposición geométrica regular y repetitiva de sus moléculas hay que unir su inactividad entrópica, esto es, su total ausencia de procesos que contribuyan a su desorden interno.

Sin embargo, de la *rigidez* del cristal al *torbellino* disipativo se ha producido toda una nueva conceptualización y caracterización de lo que hoy entendemos por orden en las ciencias de la materia, que nos acerca aún más al campo de las ciencias sociales. Así pues, mientras que la estructura cristalina está asociada a un sistema aislado en equilibrio, la estructura disipativa lo está a un sistema abierto lejos del equilibrio⁶. Mientras que el

profundo que creo que podemos hablar con justicia de un nuevo diálogo del hombre con la naturaleza." (1988: 22).

⁶ El mayor acercamiento a las ciencias sociales que el concepto de orden por fluctuaciones presenta frente al orden rígido del cristal, viene dado por el hecho de que: "*La principal conclusión de las anteriores consideraciones es que la organización biológica y social implica un nuevo tipo de estructura de origen distinto, y que requiere una explicación distinta a la de las estructuras de equilibrio como la de los cristales. Una característica común a las estructuras sociales y biológicas es que nacen en sistemas abiertos y que su organización depende fundamentalmente del intercambio de materia y energía con el medio ambiente. Sin embargo, el requisito de sistema abierto no es condición suficiente para garantizar la aparición de tal estructura. Como vamos a ver, esto sólo es posible si el sistema se mantiene "muy lejos del equilibrio" y si existen ciertos tipos de mecanismos "no lineales" que actúen*

crystal responde a las características propias de un *orden por rigidez* y repetición, la *estructura disipativa* lo hace a lo que se conoce como un *orden por fluctuaciones*. De tal manera que al orden rígido del cristal que ha supuesto una significación de aquél en términos de permanencia, invariabilidad e incoherencia, le ha sucedido otro modelo de orden que ha aportado las cualidades de *irreversibilidad, probabilidad y coherencia*. Un nuevo orden físico-químico que es capaz, desde sus propias concepciones, de compatibilizar las restricciones del segundo principio de la termodinámica con las leyes de la evolución⁷. El orden por fluctuaciones frente al orden de la rigidez y la repetición ha incorporado, en definitiva, no sólo nuevas dimensiones a tener en cuenta en su conceptualización, no sólo una apertura a la complejidad y a la historia sino, más profundamente, el hecho de que: "*El orden y el desorden se presentan aquí no como opuestos uno a otro sino como indisociables.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 57).

En efecto, las *estructuras disipativas* como modelo del orden a través del desorden requieren, para mantenerse, un flujo permanente de materia o energía que, si desaparece, hace que el sistema se dirija hacia su estado de equilibrio. Y, sin embargo, el régimen disipativo que articula la estructura del mismo nombre tiene por objeto el derroche *irreversible* del flujo de energía y materia que mantiene al sistema fuera del equilibrio, en un estado inestable. Es decir, la disipación, la pérdida de energía, la prosecución del segundo principio de la termodinámica es no sólo causa de desorden, como clásicamente era entendido, sino que también lo es actualmente del propio

entre los distintos elementos del sistema." (Prigogine, 1988: 240).

⁷ En efecto, como se pregunta el propio Prigogine: "*¿Cuáles son las exigencias que la física ha de satisfacer frente a un universo evolutivo? Veremos que hoy podemos enumerar tres exigencias: la irreversibilidad, la aparición de la probabilidad y la coherencia, que constituyen las condiciones para la existencia de las nuevas estructuras que ha descubierto la física de los procesos alejados del equilibrio.*" (1991: 44).

orden⁸. Ahora bien, la dependencia de cualquier estructura disipativa de la apertura del sistema a los flujos que le alimentan no convierten a ésta en un mero reflejo del medio externo. Por el contrario, como ha sido destacado en alguna ocasión, la estructura disipativa es un centro de organización, de adaptación y de invención. Tal y como afirma Prigogine, incluso las más simples estructuras disipativas son capaces de "... *crear sus propios límites alcanzando una dimensión "natural", determinada por el funcionamiento del propio sistema; en el interior de la estructura, el espacio se halla organizado en función del régimen disipativo.*" (1988: 105).

La termodinámica clásica nos acostumbró a trabajar e investigar los estados en equilibrio o próximos al equilibrio. Estados en los cuales las pequeñas fluctuaciones que se observan, en el sistema que aún no ha llegado a su máxima entropía, quedan fácilmente integradas por unas condiciones próximas a la estabilidad global del sistema en los llamados *estados estacionarios*. Estos estados, que se producen en los sistemas próximos al equilibrio termodinámico o en el no-equilibrio lineal, se caracterizan por la equivalencia de cualesquiera de sus múltiples estados compatibles con las condiciones en los límites que definen al sistema. En ellos, las fluctuaciones con respecto a la media de las magnitudes que definen el conjunto de los estados compatibles, son insignificantes y resultan ser los grandes números quienes dominan esas magnitudes, imponiendo la norma que describe al estado estacionario. Sin embargo, en los sistemas físicos alejados del equilibrio la actividad de las fluctuaciones se convierte en importante para los

⁸ A este respecto, nada tan ilustrativo como la consideración del sistema económico como si de una estructura disipativa se tratase. Tal es la propuesta teórica realizada por Robert U. Ayres tendente a una conceptualización, más global en última instancia, de la ciencia económica actual. Muy sintéticamente diremos que, para establecer el mencionado paralelismo entre el sistema económico y la estructura disipativa, Ayres ha estimado tanto la dependencia del sistema económico de flujos continuos de materia y energía como la exhibición de comportamientos coherentes en el sistema económico en forma del reconocimiento de la división del trabajo y la especialización en el tratamiento de dichos flujos de materia y de energía. Para una ampliación de esta propuesta puede verse Ayres, 1988.

distintos estados que puede alcanzar el sistema⁹. Como señala Prigogine: "... *para unas condiciones en unos límites determinados, el sistema puede hallarse en muchos estados distintos, y es la fluctuación la que selecciona el que se alcanzará en definitiva.*" (1988: 89).

La descripción termodinámica no permite prever la evolución del sistema en su totalidad. Es más, lejos del equilibrio son los desarrollos matemáticos correspondientes a la teoría de *catástrofes* y a la teoría de *bifurcaciones* quienes pueden arrojar algo de luz sobre el proceso de evolución al que se encuentra sometido el sistema. Una evolución que se muestra así "... *à la vez continua, por estar parcialmente determinada por leyes macroscópicas que caracterizan globalmente al sistema, y creadora, por conducir a situaciones totalmente nuevas.*" (Prigogine, 1988: 91). Por consiguiente, una evolución que resume lo que para Prigogine es "... *el auténtico modelo del proceso innovador en la naturaleza.*" (Ibídem). De este modo, no es posible para los sistemas alejados del equilibrio termodinámico hablar de estabilidad, no hay un final estable para la evolución de estos sistemas mientras persistan en ellos los flujos de materia y energía que los recorren¹⁰. En este proceso evolutivo: "*La innovación hace más complejo el medio en que se produce, planteando problemas inauditos, creando nuevas*

⁹ De hecho, la importancia de las fluctuaciones en la nueva representación de los sistemas físicos alejados del equilibrio es puesta de manifiesto por Prigogine al escribir que: "*Los problemas nuevos que plantea a la física la posibilidad de que, a partir de una determinada distancia del equilibrio, de cierto umbral crítico, el estado estacionario que permitían prever las leyes puramente macroscópicas pueda dejar de ser estable, de que las perturbaciones locales, en vez de remitir, puedan, en estas condiciones, invadir todo el sistema transformando su funcionamiento, son de una naturaleza susceptible de modificar profundamente la definición misma de objeto físico. El propio concepto de estabilidad, en la medida en que recurre a la vez a los procesos moleculares y a las fluctuaciones, así como a las condiciones en los límites que determinan macroscópicamente al sistema, está a caballo sobre los dos modos de descripción y hasta nos impide que esperemos, o que incluso concibamos, la reducción de uno en el otro; por primera vez, la inteligibilidad de un fenómeno propiamente físico excluye tanto al ideal reduccionista tradicional como al pluralismo tranquilo del positivismo.*" (1988: 106).

¹⁰ En este sentido, Prigogine expresa para los sistemas alejados del equilibrio la: "*Imposibilidad de hablar de una evolución finalizada, hacia un estado estable, un estado en el que el "futuro ya no sea peligroso". Evolución que deja de ser búsqueda de identidad, de reposo, para hacerse creación de problemas nuevos, proliferación de nuevas dimensiones.*" (1988: 96).

posibilidades de inestabilidad y conmoción." (Prigogine, 1988: 96-97).

Si no hay un final estable para un sistema alejado del equilibrio, mientras continúe en esa condición, todo nuevo estado que sea alcanzado por ese sistema será tan solo *metaestable*¹¹. En este sentido, la evolución del sistema físico alejado del equilibrio presenta dos fases: una primera fase determinada por el comportamiento del sistema entre dos inestabilidades y una segunda fase caracterizada por el comportamiento del sistema en las proximidades de la inestabilidad o en la inestabilidad misma. En ambas fases, sin embargo, destacan: "... *dos conceptos fundamentales a considerar en situaciones alejadas del equilibrio: la posibilidad de bifurcaciones y el papel de las fluctuaciones.*" (Prigogine, 1988: 191). En cualquier caso, las nuevas estructuras que eventualmente puedan surgir en el sistema tienen lugar siempre en la segunda fase. Como el propio Prigogine señala: "*Estas nuevas estructuras se originan en puntos de inestabilidad del sistema que suelen denominarse puntos de bifurcación.*" (1988: 162). Podríamos decir que, entre inestabilidades, el comportamiento del sistema físico alejado del equilibrio es más o menos determinista, mientras que en los puntos de bifurcación su

¹¹ La relación que liga al concepto de *metaestabilidad* con el de *complejidad* es puesta de manifiesto por Prigogine en el siguiente texto: "*Diversos autores han sugerido que la evolución ecológica selecciona ciertos tipos particulares de sistemas que sean estables. No obstante, es difícil dar forma cuantitativa a semejante aserto. Nuestro enfoque nos lleva a una respuesta distinta. Un sistema suficientemente complejo se hallará generalmente en estado metaestable. El valor del umbral de metaestabilidad depende de la competencia entre crecimiento y amortiguamiento a través de los "efectos de superficie". Muchos sistemas complejos son también sistemas en los que las interacciones con el entorno (que en los problemas sociales corresponde a mecanismos como el flujo de la información) son también acusadas. Desde luego, la sociedad actual se caracteriza por un alto grado de complejidad y una rápida difusión de la información, por comparación con las sociedades primitivas. La pregunta "¿existe límite a la complejidad?", posiblemente tenga una respuesta menos taxativa que las cuestiones a las que ahora la humanidad ha dado respuesta. Según nuestros resultados, un aspecto importante de la respuesta consistiría en saber que la complejidad resulta limitada por la estabilidad que, a su vez, está limitada por la potencia de imbricación sistema-ambiente. No podemos entrar aquí en detalles, pero vemos que la idea de "progreso" o de aumento continuo de complejidad dista mucho de ser sencilla.*" (1988: 290-291).

comportamiento será *estocástico*¹².

La *probabilidad* de que sea una particular fluctuación la que se amplifique y no otra, es algo que dependerá del pasado de ese sistema. En efecto, como explica Prigogine recurriendo a una terminología sociológica, la evolución del sistema alejado del equilibrio se produce cuando una fluctuación *"... origina una modificación local de la microestructura que, si los mecanismos reguladores resultan inadecuados, modifica la macroestructura. Esto, a su vez, determina el "espectro" de posibles fluctuaciones futuras."* (Prigogine, 1988: 266). En todo caso, dentro de las posibles fluctuaciones, la indeterminación es considerable puesto que: *"Se trata de un fenómeno "estocástico", o al "azar", ya que la evolución del sistema está determinada por la primera fluctuación que se produzca y que conduzca el sistema a un nuevo estado estable."* (Prigogine, 1988: 265-266). La probabilidad se configura así como elemento indispensable para comprender la novedad del nuevo estado metaestable al que accede el sistema físico alejado del equilibrio¹³.

¹² Como se ha encargado de subrayar Prigogine: *"Problemas como el de la autoorganización en sistemas de no equilibrio requieren ambos aspectos -el determinista, según el cual las medias representan con exactitud el estado del sistema, y el estocástico, que cobra importancia en la proximidad a los puntos de bifurcación y de inestabilidad. Sólo la conjunción de estos dos aspectos nos facilita una representación real de algunos de los aspectos básicos de los sistemas en evolución."* (1988: 288).

¹³ Sobre la importancia de la probabilidad en el proceso de evolución de un sistema físico, Prigogine escribe lo siguiente: *"Finalmente, la aparición de bifurcaciones en condiciones alejadas del equilibrio conduce a un elemento azaroso estocástico irreductible a nivel macroscópico. Las teorías deterministas no nos sirven para predecir qué rama de las que se producen en el punto de bifurcación será elegida. Tenemos aquí un ejemplo del papel esencial de las probabilidades. Se recordará que, en mecánica cuántica, las probabilidades desempeñan ya un papel esencial, cual es la esencia de la famosa relación de incertidumbre de Heisenberg. A esto se le podría objetar que los seres humanos estamos formados por tal número de partículas elementales que los efectos cuánticos se desvanecen en función de la ley de los grandes números. Sin embargo, no podemos decir lo mismo hablando de bifurcaciones en sistemas químicos alejados del equilibrio. En este caso, los efectos probabilísticos irreductibles aparecen a nuestro propio nivel. Es evidente que existe una relación con el papel de las fluctuaciones y la teoría darwiniana del origen de las especies. Se comprenderá por qué antes me refería a que, en la actual perspectiva, la vida no parece un fenómeno tan aislado, puesto que está mucho más arraigada en las leyes básicas de la naturaleza."* (1988: 26-27).

Esta idea de probabilidad asociada a los estados inestables y a la irreversibilidad, hemos tenido oportunidad de mostrarlo en capítulos precedentes, no es debida a nuestra ignorancia o a la insuficiencia de nuestro conocimiento o capacidad como observadores, sino que forma parte intrínseca de la propia dinámica del sistema¹⁴. En este sentido, recordamos que: "*Es la inestabilidad dinámica la que estará en el origen de las nociones de probabilidad y de irreversibilidad.*" (Prigogine, 1991: 55-56). Por lo demás, la irreversibilidad de los sistemas inestables, nos vuelve a poner en evidencia su sentido histórico, la existencia de una flecha del tiempo en dirección hacia el equilibrio termodinámico. Las fluctuaciones sólo se producen en los sistemas en el no-equilibrio. No está de más insistir en el hecho de que: "*Un sistema en equilibrio no tiene y no puede haber tenido historia: no puede más que persistir en su estado, en el cual las fluctuaciones son nulas.*" (Prigogine, 1991: 51). Por consiguiente, la consideración de inestabilidad para un sistema, y por extensión de ésta, de su metaestabilidad posterior -si el sistema es complejo- está unida a la noción de *irreversibilidad* y por tanto a las nociones de evolución e historia para ese mismo sistema¹⁵.

¹⁴ Una explicación adicional del nexo existente entre probabilidad e irreversibilidad es desarrollada en este texto: "*Hemos justificado ya una de las intuiciones básicas de Boltzmann. Efectivamente, tiene sentido hablar de probabilidades incluso en el marco de la mecánica, pero no para todos los sistemas, sólo para sistemas en los cuales el concepto de trayectoria pierde sentido. Veamos cómo seguir y pasar de azar intrínseco a sistemas intrínsecamente irreversibles.*

Para ello son necesarias unas condiciones suplementarias. Necesitamos representaciones dinámicas con menor simetría que la simetría constantemente invertible de las ecuaciones básicas.

Por ejemplo, en esferas sólidas, una situación posible es aquella en la que las velocidades en el pasado lejano de un grupo de partículas fueran realmente paralelas y en el futuro lejano la distribución se volviera aleatoria como requisito de equilibrio. La simetría de inversión temporal exige que se dé también una situación en la que las velocidades del pasado lejano sean al azar y, en el futuro lejano, tiendan a ser paralelas. Una situación así se obtiene mediante la inversión de la velocidad de la otra. De hecho, sólo se observa la primera y no la segunda. La segunda ley de la termodinámica para el nivel macroscópico postula precisamente la exclusión de una de estas dos situaciones en la que una tiene las velocidades invertidas con respecto a la otra.

La irreversibilidad cobra significado microscópico sólo si hay representaciones dinámicas que no sean invariantes respecto a la inversión temporal, pese al hecho de que las ecuaciones iniciales sí lo sean." (Prigogine, 1988: 29-30).

¹⁵ Al respecto, conviene señalar que la irreversibilidad, que es introducida en la física por la termodinámica, aunque permanece originariamente ligada al segundo principio de la termodinámica, no se reduce ya a una tendencia determinista hacia el desorden. Como se pregunta Prigogine: "*Pero, ¿qué es la irreversibilidad? Para muchos hombres de ciencia (y para la mayor parte de los divulgadores) la*

Por lo demás, *probabilidad e irreversibilidad* muestran estar unidos en los sistemas dinámicos altamente inestables, cuando comprobamos que "... trayectorias que se inician en puntos tan próximos como deseemos, divergen de forma exponencial con el tiempo." (Prigogine, 1988: 29). Y, por otra parte, la irreversibilidad no es una propiedad universal, por lo que volvemos a insistir en el hecho de que no está ligada a nuestro insuficiente conocimiento del sistema inestable¹⁶. Todo lo cual hace que nos encontremos, con ocasión del estudio de los sistemas inestables, con limitaciones *intrínsecas* para la predicción de la evolución de esos sistemas, por abundante y amplio que sea el conocimiento que acerca de ellos podamos obtener. La consecuencia de este descubrimiento sobrepasa el estricto ámbito de la disciplina en la que se ha desarrollado cuando podemos constatar que "... el mundo en conjunto parece pertenecer a esos complejos sistemas de azar intrínseco para los que la irreversibilidad es significativa, y es a esta categoría de sistemas con

irreversibilidad corresponde a la disipación, al desorden: cada estructura sería conquistada a través de una fuerte lucha contra el segundo principio; así sería para la vida como para el universo.

Quiero insistir en seguida -y volveré a ello en el contexto cosmológico- sobre el hecho de que la producción de entropía contiene siempre dos elementos "dialécticos": un elemento creador de desorden, pero también un elemento creador de orden. Y los dos están siempre ligados." (1991: 47-48).

¹⁶ En efecto, hoy ya no es posible ligar irreversibilidad y probabilidad a un deficiente conocimiento de los sistemas investigados. Por el contrario, la existencia de sistemas inestables muestra que ambas características forman parte de la dinámica intrínseca y de la descripción propia de esta clase de sistemas. Ciertamente, no siempre fue así, Prigogine nos lo recuerda a continuación: "*Pero ¿cómo entender la irreversibilidad, no ya en términos de física macroscópica, sino en términos de las leyes básicas, sean clásicas o cuánticas? Ya mencioné al principio el audaz ensayo de Boltzmann para relacionar la irreversibilidad con la teoría de la probabilidad. Pero, a la inversa, ¿qué puede significar probabilidad en un mundo en que las partículas o las funciones de onda evolucionan con arreglo a leyes deterministas? Popper, en su preciosa obra Unended Quest, describe la trágica lucha de Boltzmann y el modo en que finalmente se vio obligado a retractarse y admitir que no existía una flecha intrínseca de tiempo en la naturaleza. De nuevo volvemos a la conclusión lapidaria de Einstein: el tiempo es una ilusión.*

Actualmente podemos continuar la búsqueda de Boltzmann porque conocemos mejor la dinámica, gracias a los trabajos de grandes matemáticos como Poincaré, Lyapunov y, en fecha más reciente, Kolmogoroff. Sin su esfuerzo, este problema seguiría siendo una conjetura más. Señalemos en primer lugar que la irreversibilidad no es universal. Ya he dicho que hay sistemas, como el caso de un muelle aislado, para los que la entropía no es relevante, porque su movimiento es totalmente reversible. Por lo tanto, no cabe esperar que la irreversibilidad sea una propiedad de todos los sistemas dinámicos. Lo que hay que hacer es identificar los sistemas dinámicos de complejidad adecuada para los que es posible una formulación de la segunda ley a nivel macroscópico.

Desde luego que no podemos ahora entrar en detalles técnicos. Sin embargo, el punto principal es el reciente descubrimiento de sistemas dinámicos altamente inestables." (1988: 28-29).

ruptura de simetrías temporales a la que pertenecen todos los fenómenos vitales y, por consiguiente, la existencia humana." (Prigogine, 1988: 31-32).

Si las limitaciones intrínsecas, con las que nos topamos en la predicción de la evolución de un sistema inestable, ha sido un hallazgo sorprendente, no es menos extraordinario el descubrimiento de la *coherencia* con que la materia puede llegar a comportarse en los sistemas alejados del equilibrio. Un comportamiento coherente que se caracteriza porque todas y cada una de las partes que componen el sistema alejado del equilibrio se muestra *sensible* al resto y desarrolla conjuntamente una actividad auto-organizada que se materializa en las ya conocidas como *estructuras disipativas*¹⁷. En efecto,

¹⁷ La *sensibilidad* que desarrollan los sistemas alejados del equilibrio constituye, a nuestro juicio, una de las características más importantes a tener en cuenta en el estudio de los estados inestables por los que pueden atravesar esta clase de sistemas. Por su interés para la comprensión de ciertos pasajes de la tercera parte de esta tesis doctoral, nos permitimos anotar el siguiente texto que aunque extenso no por ello resultará menos profundo y provechoso: "*Un sistema físico-químico puede así hacerse sensible, lejos del equilibrio, a factores despreciables cerca del equilibrio. Utilizar en este contexto un término como el de "sensibilidad" no supone proyección antropomórfica sino que significa un enriquecimiento de la noción de causalidad. Los sistemas alejados del equilibrio no sufren la fuerza de gravitación a la manera de un cuerpo pesante; su comportamiento no está sometido a una relación general de causa a efecto. La relación causal es aquí recíproca: es la actividad del sistema la que "da sentido" a la gravitación, la que la integra de manera específica en su propio régimen de funcionamiento, y la gravedad hace entonces a este sistema capaz de nuevas estructuras, de nuevas diferenciaciones.*

La noción de "sensibilidad" une lo que los físicos tenían costumbre de separar, la definición del sistema y su actividad. Para definir un sistema en el equilibrio podemos despreciar el hecho de que se encuentra en el campo gravitatorio terrestre, pero esta aproximación ya no es posible lejos del equilibrio. Es entonces la actividad del sistema la que obliga a transformar su definición. Desde este momento ya no se puede hablar, como era el caso en el equilibrio, de un sistema "manipulable", totalmente determinado por sus "condiciones de contorno", es decir, por las relaciones que mantiene con su medio y que nosotros podemos manipular a voluntad. Es la actividad intrínseca del sistema la que determina cómo debemos describir su relación con el entorno, la que genera así el tipo de inteligibilidad que será pertinente para comprender sus historias posibles.

Volvamos a encontrar la noción de sensibilidad asociada a la de inestabilidad, puesto que en este caso se trata de la sensibilidad del sistema hacia sí mismo, a las fluctuaciones de su propia actividad. También aquí es de la actividad del sistema de la que depende nuestro modo de representación. Podemos describir un sistema en el equilibrio solamente con los valores medios de las magnitudes que lo caracterizan, porque el estado de equilibrio es estable respecto a las incesantes fluctuaciones que perturban estos valores, porque estas fluctuaciones están condenadas a la regresión. Por esta razón podemos igualmente definir estos sistemas como controlables: [...].

La representación que construimos a propósito de un sistema remite de este modo a nuestras posibilidades de manipulación, pero su pertinencia es relativa a la estabilidad del sistema respecto a lo que no podemos manipular, al hecho de que los sucesos incontrolables queden o no insignificantes. El hecho de que tal o cual suceso pueda "tomar sentido", dejar de ser un simple ruido en el tumulto sin sentido de la actividad microscópica, introduce en física este elemento narrativo que hemos dicho que

más allá del *umbral de inestabilidad* en un sistema alejado del equilibrio, éste se organiza espontáneamente a partir de los flujos que le alimentan. Ahora bien, es importante destacar que si bien el sistema se estructura *a partir* de esos flujos, como acabamos de señalar, no son ellos los que le marcan la estructura interna ni el comportamiento coherente, sino que es el propio sistema quien despliega una cierta autonomía al estructurarse de acuerdo con el régimen disipativo¹⁸.

Así, la coherencia es el aspecto más inesperado del no-equilibrio en tanto que supone que las moléculas reaccionen simultáneamente a los flujos de materia y energía con los que se alimenta al sistema para que permanezca fuera del equilibrio. Un proceso de "comunicación" molecular a escala macroscópica que se muestra sensible a leves cambios del medio, lo que abre el sistema a todo un conjunto de posibles y diferentes estructuras espacio-temporales. Como afirma Prigogine: *"El no equilibrio es fuente de orden, de coherencia; entre las unidades surgen correlaciones. El no equilibrio como origen de orden se presenta ya como uno de los principios más generales que podemos formular actualmente."* (1988: 53). Y esto es algo que está ocurriendo a todos los niveles, en todas las escalas, desde la cuántica hasta

era indispensable para una verdadera concepción de la evolución. Y la historia de la vida puede leerse, sin duda, al menos en parte, como la historia de una multiplicación de la "sensibilidad", como la incorporación por el organismo viviente activo de débiles interacciones que se convierten en otras tantas informaciones que tejen sus relaciones con su mundo..." (Prigogine y Stengers, 1990b: 67-68).

¹⁸ En efecto, como han explicado Prigogine y Stengers: *"El flujo de calor y de materia que mantiene la desviación respecto al equilibrio es una "ligadura" en cuanto que, sin él, el sistema evolucionaría hacia el equilibrio. Cerca del equilibrio esta ligadura que nosotros imponemos basta para determinar la actividad del sistema: el estado estacionario corresponde en efecto a la actividad mínima compatible con la ligadura que mantiene al sistema fuera del equilibrio (éste es el teorema de mínima producción de entropía formulado por uno de nosotros en 1945). Podemos decir entonces, para un proceso como la termodifusión por ejemplo, que la diferencia térmica impuesta al sistema "explica" la actividad de éste. No sucede lo mismo más allá del umbral de inestabilidad. Así, los vórtices de Bénard son más costosos en entropía que el estado estacionario, ahora inestable, que correspondería a la misma diferencia de temperatura: el calor es transportado más rápidamente desde la superficie inferior hacia la superficie superior, y es necesario entonces alimentar el sistema con un flujo de calor más intenso para mantener esta misma diferencia de temperatura. En este caso es difícil decir que la ligadura de no-equilibrio impone al sistema su actividad. Esta se organiza espontáneamente a partir de esta ligadura."* (1990b: 66).

la cosmológica -como hemos visto en capítulos anteriores- pasando por la macroscópica, en la cual, las estructuras disipativas resultan observables en nuestra propia escala de percepción natural.

IV.2. LA AMPLIFICACIÓN DE FLUCTUACIONES COMO MECANISMO DE APARICIÓN DE NUEVAS ESTRUCTURAS.

Uno de los aspectos más sugerentes de las *estructuras disipativas* lo constituye, a nuestro juicio, la particular relación que esta formación es capaz de establecer entre el *nivel local* en el que surge y eventualmente se desarrolla toda fluctuación, y el *nivel global* que puede alcanzar posteriormente haciendo coherente la actividad de todas las partículas del sistema que se encuentra alejado del estado de equilibrio. La termodinámica clásica distinguía tradicionalmente la *fluctuación* o perturbación de pequeña entidad, de los *valores medios* que tomaban las magnitudes que definían al sistema y que lo representaban. En general, a las fluctuaciones no se les prestaba mayor atención debido a que surgían y desaparecían de manera incesante, sin llegar a modificar apreciablemente los valores medios de las magnitudes que representaban el estado del sistema que se encontraba próximo al equilibrio o, si se prefiere, en el no-equilibrio lineal¹⁹.

¹⁹ En este sentido, bástenos recordar que las células de Bénard son de las más conocidas estructuras disipativas y que tienen su origen en una corriente de convección microscópica, una fluctuación en definitiva que hubiera debido amortiguarse y que, sin embargo, contrariamente al principio de orden de Boltzmann, se amplifica hasta invadir todo el sistema. Prigogine y Stengers nos lo cuentan así: "*La inestabilidad de Bénard es otro ejemplo chocante de la inestabilidad de un estado estacionario dando lugar a un fenómeno de autoorganización espontánea. Se debe esta inestabilidad a un gradiente de temperatura vertical impuesto a una capa horizontal de líquido. La superficie inferior de éste último se calienta a una cierta temperatura, temperatura más alta que la correspondiente a la superficie superior. Como consecuencia de estas condiciones de contorno, se genera un flujo de calor permanente de abajo a arriba. Cuando este gradiente impuesto alcanza un cierto valor crítico, el estado de reposo del fluido, i.e. el estado estacionario en el cual el calor se transporta por conducción sin convección alguna se desestabiliza. Una convección que corresponde al movimiento coherente de un*

Así, en el equilibrio termodinámico o próximo a él, las leyes por las que se rigen las fluctuaciones son *universales*, las fluctuaciones o son inexistentes o surgen y desaparecen constantemente sin llegar a alcanzar la suficiente entidad como para ser tenidas en cuenta en el estado de equilibrio o próximo a él. Todo lo más, en los estados de no-equilibrio lineal, la adición de un término a las ecuaciones que expresan y definen al sistema como situado en el no-equilibrio, es suficiente para incorporar la actividad que despliegan las fluctuaciones en dicho sistema. Sin embargo, con el estudio de los sistemas alejados del equilibrio termodinámico, la ciencia clásica se ha encontrado con que las fluctuaciones ya no resultan todas subsumibles en los valores medios que definen al sistema. Por el contrario, la ciencia clásica ha tropezado con la *especificidad* del destino de las fluctuaciones. Así, lejos del equilibrio termodinámico se hace preciso, respecto a la fluctuación, "*... estudiar en cada caso particular cómo y hasta qué punto la dispersión relativa correspondiente a este caso se desvía en relación con la fórmula clásica [...].*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 202).

La importancia de este hecho radica en que para los distintos *puntos de bifurcación* por los que puede atravesar un sistema alejado del equilibrio "*... las fluctuaciones pueden incluso alcanzar el mismo orden de magnitud que los valores medios macroscópicos.*" (Ibídem). Lo que hace que, para los *estados inestables*, la propia distinción tradicional entre valores medios y

conjunto de moléculas se pone en marcha e incrementa la velocidad de transporte de calor. Por tanto, para valores dados de las ligaduras (i.e. el gradiente de temperatura), se incrementa la producción de entropía del sistema. La inestabilidad de Bénard es un fenómeno espectacular: el movimiento convectivo que se genera consiste en realidad en una compleja organización espacial del sistema; billones de moléculas se mueven coherentemente formando células de convección hexagonales de un tamaño característico. El cálculo del número de complexiones de Boltzmann, que permite calcular la probabilidad de cada tipo de distribución macroscópica de la materia, puede aplicarse en este caso. Estudiamos la manera en que se distribuyen entre las moléculas los diferentes valores de velocidad. Así, el número de complexiones que se puede calcular, permite llegar a la conclusión de una probabilidad casi nula de que ocurra semejante fenómeno de auto-organización. Cada vez que aparecen nuevos tipos de comportamiento más allá del umbral de inestabilidad, se hace imposible aplicar el concepto de probabilidad basado en el número de complexiones. Esto es especialmente obvio en lo que concierne a la génesis del nuevo comportamiento." (1990a: 179-180).

fluctuaciones se vea puesta en entredicho hasta el punto de dejar de ser pertinente para definir la situación del sistema que se encuentra en dicho estado. La representación que la termodinámica clásica hacía de los sistemas en términos de valores medios omnipresentes y fluctuaciones despreciables, deja ahora de ser válida para los sistemas alejados del equilibrio donde la descripción del sistema se efectúa desde la indisociable definición de los *atractores* y las *fluctuaciones* que caracterizan de modo conjunto la dinámica inestable. La importancia de esta nueva clase de caracterización de los sistemas reside en que: *"Por primera vez, una teoría física nos permite describir y prever un acontecimiento que responde a las exigencias más generales de una teoría de la creatividad."* (Prigogine, 1988: 88).

En efecto, los estados posteriores al de inestabilidad son previsibles, si bien, no en la clave determinista propia de la ciencia clásica sino, como afirma Prigogine: *"... porque el número de soluciones posibles al problema de la estabilidad, que se plantea lejos del equilibrio, es calculable y porque los estados hacia los que un sistema puede evolucionar son finitos en número."* (1988: 90). Sin embargo, en el proceso de creación de la novedad, dos hechos resultan claves, la actividad del ente innovador y la respuesta del medio a esa actividad. En los sistemas en equilibrio nos encontramos con una total ausencia de actividad, no existe la desviación respecto a la norma, sólo un espacio homogéneo por el que se distribuyen las partículas. En los estados próximos al equilibrio o en el no-equilibrio lineal, existen unos valores medios que son ligeramente perturbados por pequeñas fluctuaciones a esos valores. Existe actividad, pero ésta no obtiene aceptación por parte del sistema, que permanece fiel a la norma o valor medio que le describe.

No obstante, en los sistemas alejados del equilibrio no sólo existe actividad sino que ésta, en forma de fluctuaciones, es capaz, en situaciones

de inestabilidad, de amplificarse e invadir todo el sistema²⁰. Por lo que, como explica Prigogine: "*La innovación es una fluctuación aceptada por el medio y no sería posible en un universo excesivamente coherente en la que ninguna fluctuación perturbase la tranquila identidad, ni en un universo incoherente en el que todas las fluctuaciones fueran equivalentes y, por lo tanto, intrascendentes [...].*" (1988: 94). Por lo demás, se ha comprobado que, para cualquier sistema, el medio interno de ese sistema siempre juega el mismo papel opositor, un papel de resistencia frente a la fluctuación que trata de amplificarse y extenderse. Sólo con una pérdida de la importancia del medio interno que rodea a la zona en la que se produce la fluctuación, ésta última puede tener oportunidad de amplificarse. De manera que el contacto y la integración de la *zona fluctuante* con el resto del medio interno del sistema en cuestión es, paradójicamente, el más firme impedimento para la ampliación de la fluctuación.

Por consiguiente, una de las tareas más importantes del investigador de este tipo de situaciones inestables reside en averiguar la *dimensión crítica* a partir de la cual una zona fluctuante puede resistir la presión hacia la homogeneidad, que el resto del medio que no ha fluctuado impone, y continuar su desarrollo. Como ha descrito Prigogine: "*Dentro de la zona fluctuante, los procesos disipativos tienden a reforzar la fluctuación, pero los intercambios con el medio tienden a amortiguarla, y es la competencia entre estos dos factores lo que determina el destino de la fluctuación: la invasión*

²⁰ Prigogine y Stengers realizan una lectura de esta cuestión en la que destacan un aspecto de la misma que será retomado en la tercera parte de nuestra tesis doctoral: "*Como ya hemos ilustrado de muchas formas, el orden por fluctuación lleva al estudio del juego entre azar y necesidad, entre innovación provocadora y respuesta del sistema; nos lleva a distinguir entre los estados del sistema en los que toda iniciativa individual está condenada a la insignificancia y las zonas de bifurcación en las que un individuo, una idea o un comportamiento nuevo pueden trastornar el estado medio. Esto no sucede con cualquier individuo, idea o comportamiento, sino sólo con aquellos que son "peligrosos", aquellos que pueden utilizar en su propio beneficio las relaciones no-lineales que hacen nacer un orden determinado del caos de los procesos elementales y que pueden, llegado el caso, en otras condiciones, determinar la destrucción de este orden, la aparición, más allá de otra bifurcación, de otro régimen de funcionamiento.*" (1990a: 216).

de todo el sistema, o su desaparición." (Ibídem). En este sentido, la amplificación de la fluctuación está ligada a un fenómeno de *nucleación* creciente en torno a la propia fluctuación que, de este modo, amplía el tamaño e influencia de la zona fluctuante. Por consiguiente, con el proceso de nucleación, la fluctuación no sólo inicia su crecimiento sino que también incrementa su capacidad de resistir al resto del medio interno que no ha fluctuado²¹.

La cuestión radica entonces, en conocer los términos en los cuales el proceso de nucleación puede verse reforzado, en la medida en que es él quien desencadena la primera fase de amplificación de la fluctuación. Al respecto, merece destacarse el hecho de que se han establecido al menos dos características que contribuyen al fenómeno de la nucleación creciente en torno a una fluctuación la cual aumenta, de esta manera, sus dimensiones. Así, Prigogine destaca que *"... en este enfoque del fenómeno de nucleación, intervienen parámetros de la velocidad de difusión de los productos del sistema y parámetros de la intensidad de las complejas interacciones susceptibles de causar aumento de la inestabilidad."* (1988: 116). En este sentido, se sabe que cuanto mayor es el número de elementos en interacción también son mayores las posibilidades de inestabilidad. Este hecho llega hasta el punto de que se pueda asumir como normal el que para los sistemas complejos -como ya ha sido señalado en anteriores ocasiones- no existan

²¹ Sobre la relación que liga el fenómeno de *nucleación* con un cierto *valor crítico* y la importancia de ambos conceptos en la amplificación de fluctuaciones, anotamos aquí la explicación que nos ofrecen Prigogine y Stengers: *"Sería interesante examinar con mayor detalle el mecanismo que amplifica las fluctuaciones. Una conclusión general se hace obvia: una fluctuación no puede dominar todo el sistema de una sola vez. Debe primero establecerse en una región limitada. Dependiendo de que el tamaño de esta región inicial esté por debajo o por encima de un cierto valor crítico (el cual, en el caso de las estructuras disipativas químicas, depende en particular de las constantes cinéticas y de los coeficientes de difusión) la fluctuación bien se amortigua bien se expande a todo el sistema. Esto es un fenómeno de nucleación, con el cual nos hemos familiarizado en la teoría clásica de transiciones de fase: por ejemplo, en un gas hay una incesante formación y evaporación de gotas de condensación. Sin embargo, cuando la temperatura y la presión alcanzan un punto en donde el estado líquido se hace estable, existe un tamaño crítico de gota que es más pequeño cuanto más baja es la temperatura y más alta la presión. Si el tamaño de esta gota excede de este "umbral de nucleación", el gas se transforma casi instantáneamente en líquido."* (1990a: 203)

estados estables propiamente dichos sino que los sistemas complejos se encontrarían, en estos casos, situados siempre en unos estados *metaestables*. Estados de los que se podría afirmar que colocan al sistema permanentemente en una situación en la que éste resulta "... *amenazado siempre por una categoría de fluctuaciones que excede su potencia de integración*." (Ibídem).

Por el contrario, se ha observado que "... *cuanto mayor sea la velocidad de comunicación dentro del sistema, mayor será el porcentaje de fluctuaciones insignificantes que son incapaces de cambiar el estado del sistema, i.e. mayor será la estabilidad del sistema*." (Prigogine y Stengers, 1990a: 203). Es decir, que a mayor velocidad de comunicación en el sistema, tanto más difícil será para una fluctuación aumentar su zona de influencia y progresivamente amplificarse. De manera que el medio interno del sistema alejado del equilibrio que circunda la zona fluctuante, hará tanto más ineficaz la acción desestabilizadora de la fluctuación, cuanto mayor sea la capacidad del medio para aumentar las comunicaciones con la zona fluctuante. Como muy bien han señalado Prigogine y Stengers la función del entorno de la región o zona fluctuante es la de *amortiguar* la fluctuación. No se trata, por tanto, de aislar la zona fluctuante del medio que le rodea cuanto de incrementar las interacciones y velocidades medias de las comunicaciones del conjunto del sistema para esa zona de fluctuación. Toda la acción del medio circundante respecto a la fluctuación podría resumirse en el término *regularizar*²².

²² La importancia de la *velocidad* como mecanismo de estabilidad en los sistemas alejados del equilibrio se pone de manifiesto incluso en un tipo de fluctuación no considerado en nuestro esquema cual es la *mutación*. Así: "*Hasta ahora las fluctuaciones, cuya posible amplificación hemos examinado, se referían a concentraciones de unidades activas, constitutivas del sistema. Sin embargo, la estabilidad de un sistema puede peligrar de otra manera: por "mutaciones" que afecten a determinadas unidades, o bien por otros tipos de unidades introducidas en el sistema que establezcan e impliquen un nuevo tipo de relaciones entre los constituyentes. Se produce entonces una verdadera competencia entre los distintos modos de funcionamiento posible del sistema; los mutantes o los intrusos, al principio poco numerosos, serán eliminados y se conservará el funcionamiento "ortodoxo", a menos que su presencia determine la inestabilidad del mismo. En tal caso, en vez de ser destruidos se multiplicarán y todo el sistema adoptará un nuevo modo de funcionamiento a costa de la destrucción de los que ya no desempeñan papel alguno. En este caso, es la estabilidad de la misma estructura del sistema, de la*

En efecto, en la medida en que el medio interno que se encuentra en la inmediata vecindad de la zona de fluctuación se muestre efectivo en el restablecimiento de los valores medios o regulares del sistema para esa zona, la fluctuación no alcanzará la *talla crítica* que le permite amplificarse. Como han explicado Prigogine y Stengers: "*La talla crítica viene en consecuencia determinada por una competición entre el "poder integrante" del sistema y los mecanismos químicos que amplifican la fluctuación dentro de la subregión fluctuante.*" (Ibídem). La talla crítica puede definirse, por tanto, como un cociente entre el valor de la fluctuación, en términos de volumen afectado o inmerso en el proceso fluctuante, y el área de contacto con el medio circundante. Área de contacto que se muestra regular en su comportamiento respecto a los valores medios que describen al conjunto del sistema que se halla situado en el no-equilibrio.

Las anteriores observaciones han conducido de modo evidente a preguntarse acerca de cómo consiguen los sistemas complejos la estabilidad suficiente, para persistir en sus estados metaestables cuando el número de fluctuaciones potencialmente peligrosas es tan elevado como para que ni siquiera se hable de estabilidad sino de metaestabilidad. Ciertamente, la respuesta no se hace esperar teniendo en cuenta que la población en interacción es muy elevada. Por tanto, a la luz del esquema aquí señalado, sólo la *velocidad* de las comunicaciones dentro del sistema, es capaz de hacer que las fluctuaciones no alcancen la talla crítica necesaria para amplificarse y generar un nuevo régimen de funcionamiento, esta vez marcado por la fluctuación amplificada convertida en reguladora de todo el sistema. El *límite*

"sintaxis" de las operaciones que en ella se producen, lo que se explora.

Veamos un ejemplo simple, el de una población de macrocélulas autoreplicativas: en este caso, analizado por Eigen, la población está dominada por las macromoléculas capaces de catalizar con más eficacia y precisión su propia síntesis. Como consecuencia de copias "erróneas", aparecen constantemente macromoléculas "mutantes" de distinta secuencia; sin embargo, estos errores no acarrear consecuencias, y estos "monstruos" no se multiplicarán mientras no se reproduzcan más deprisa que la molécula dominante "normal". Pero, si uno de esos monstruos se reproduce más deprisa y mejor que ésta, la eliminará constituyéndose a su vez en norma." (Prigogine, 1988: 92-93).

a la *complejidad* de un sistema metaestable antes de hacerse o atravesar por un estado inestable vendría dado, por consiguiente, por la velocidad con la que se producen las interacciones entre la población del sistema. A mayor velocidad, mayor estabilidad, por cuanto que la rapidez con la que se amortiguan las fluctuaciones impide que éstas alcancen el *umbral de nucleación* a partir del cual su amplificación será progresiva²³.

La estabilidad o la metaestabilidad, en el caso de los sistemas complejos, deja de ser a la luz de estas observaciones no tanto el atributo de un estado en particular del sistema, como venía siendo para los sistemas en equilibrio, cuanto "... el resultado de un examen que concluye en una regresión de todas las fluctuaciones posibles." (Prigogine y Stengers, 1990a: 179). El cambio de conceptualización acerca de cuándo un sistema puede considerarse estable supone, a nuestro juicio, un avance extraordinario por lo que al modelo teórico subyacente representa para la dialéctica más general que se produce en el par *orden/desorden*. En efecto, nos encontramos en una situación en la que la *estabilidad* ha dejado de ser valorada en términos

²³ Al respecto, recogemos una nota en la que, de paso, Prigogine hace alusión a un tipo de análisis sociológico. Dice así: "La fluctuación que se amplifica constituye una totalización, el establecimiento de una unidad de régimen en armonía con el medio, pero significa también la muerte y la destrucción del sistema que invade, que domina y el cual trata en vano de reducirla.

Quizás el análisis del mecanismo de nucleación sea susceptible de esclarecer una de las cuestiones que preocupa a los especialistas de la ecología matemática. La cuestión del límite de la complejidad. Un resultado general del estudio matemático de la estabilidad de los sistemas consiste en que ésta decrece al aumentar el número de interacciones entre los constituyentes. Según este resultado, todo sistema complejo debería desaparecer, y la existencia de medios ecológicos complejos como la jungla virgen, la existencia de biosistemas, particularmente de sociedades humanas desarrolladas, parece incomprensible.

Ahora entendemos por qué la afirmación de que estos sistemas son inestables y siguen existiendo no es contradictoria. Basta que en ellos los intercambios entre todas las partes sean lo bastante rápidos como para que la dimensión crítica a partir de la cual la fluctuación pueda amplificarse y destruir el sistema sea enorme, y por lo tanto su posibilidad muy reducida, de manera que el sistema puede persistir durante tiempos prolongados. En este sentido, podemos considerar que ninguno de los sistemas que conocemos es realmente estable, sino solamente metaestable, y que vive debido a que pocas perturbaciones son capaces de superar su "poder de integración", pero que en ningún caso su existencia es prueba de la armoniosa estabilidad cerrada sobre sí misma que, por ejemplo, algunos análisis funcionalistas en sociología querían presentarnos como el estado ideal a alcanzar.

Llegamos, por consiguiente, a la idea de sistemas en evolución indefinida, al concepto de que, por definición, ningún sistema complejo es jamás estructuralmente estable. Desembocamos en la imposibilidad de hablar de final de la historia, sino sólo de fin de historias." (1988: 95-96).

estáticos y añadiríamos nosotros que incluso en términos *externos*, es decir, definidos por las condiciones de contorno; para adoptar una concepción de la estabilidad en términos *dinámicos* de fluctuaciones y actividad regularizadora, así como una concepción de la estabilidad en la que ésta es promovida por la actividad del medio *interno* del sistema que rodea a la zona fluctuante²⁴.

Esta nueva conceptualización que inscribe de igual modo al orden como al desorden en la dinámica interna del sistema alejado del equilibrio y que concibe a la estabilidad como el resultado de una actividad, ciertamente presenta una gran aproximación a la problemática planteada de acuerdo con los postulados propios de las ciencias sociales y humanas²⁵. De modo paralelo, debe señalarse que también la *inestabilidad* recibe una recontextualización pareja a la desarrollada con la noción de estabilidad. De manera que, si se ha dicho que la caracterización de un sistema como estable depende del análisis de la actividad interna del sistema, en términos del resultado de un balance en el que puede concluirse en la eventual amortiguación de todas las fluctuaciones por parte del conjunto del sistema.

²⁴ En efecto, como escribe Prigogine: *"Esto puede verse con un ejemplo sencillo. En dos cajas comunicantes ponemos una mezcla de dos constituyentes, hidrógeno y nitrógeno; si la temperatura interna del sistema es homogénea, también lo serán la distribución del hidrógeno y la del nitrógeno. Pero si sometemos los extremos del sistema a temperaturas diferentes, creamos una distribución contrastada: el hidrógeno abundará más en una parte y el nitrógeno en la otra. Por tanto, sometiendo el sistema a una constricción térmica, se crea evidentemente una disipación, un aumento de entropía, pero también un fenómeno de ordenación. Es el conocido fenómeno de la antidifusión.*

Aquí orden y desorden aparecen a la vez. Este fenómeno requiere un cambio de paradigma, porque clásicamente se asociaba el orden al equilibrio (caso de los cristales) y el desorden al no equilibrio (caso de la turbulencia). Hoy sabemos que es inexacto: la turbulencia es un fenómeno altamente estructurado, en el cual millones y millones de partículas se insertan en un movimiento extremadamente coherente. Esto vale también para muchos otros fenómenos, como por ejemplo los relojes químicos, que son reacciones oscilantes: podemos ver cómo la solución pasa de rosa al azul, después al rosa, otra vez al azul, y así sucesivamente..." (1991: 48-49).

²⁵ En este sentido, merece la pena destacarse que, como consecuencia de esta aproximación conceptual iniciada por Prigogine en el campo de la física; en el campo de la psicología social -en este caso-, se ha realizado un esfuerzo paralelo de actualización y sincronización experimental para la asunción de la perspectiva de las estructuras disipativas en el estudio de la estabilidad, del cambio y de la creatividad en los grupos pequeños sometidos a situaciones turbulentas o paradójicas. Sobre este particular puede verse: Smith y Gemmill, 1991.

Entonces, tal y como señalan Prigogine y Stengers, se podría afirmar que el sistema es inestable: "*... si este análisis revela que ciertas fluctuaciones, en vez de amortiguarse, se amplifican e invaden todo el sistema, forzándole a evolucionar hacia un nuevo régimen que puede ser cualitativamente bastante diferente de los estados estacionarios que corresponden a un mínimo de producción de entropía.*" (1990a: 179).

Por consiguiente, y para concluir, sólo nos queda destacar que el surgimiento de estructuras disipativas está en función de las fluctuaciones y del estado de inestabilidad del medio externo a la zona fluctuante, pero interno al sistema alejado del equilibrio. Es decir: "*Estructuras disipativas espaciales o temporales aparecen cuando el medio externo mantiene un estado de inestabilidad tal que posibilita la amplificación de fluctuaciones y conduce a estados macroscópicos más organizados.*" (Prigogine, 1988: 319). Más allá del umbral de inestabilidad puede decirse, por tanto, que la materia se abre a la auto-organización mediante la amplificación de sus fluctuaciones que en forma de estructuras disipativas generan una actividad diferenciada en el tiempo o en el espacio. Todo lo cual se produce en sistemas alejados del equilibrio termodinámico por lo que no debemos extrañarnos de las declaraciones de Prigogine en el sentido de que: "*No hay campo más "explosivo", hoy, que el del estudio de los fenómenos de no-equilibrio.*" (1991: 51).

CAPÍTULO V

HACIA UNA TEORÍA DE LA DIVERSIDAD CUALITATIVA

HACIA UNA TEORÍA DE LA DIVERSIDAD CUALITATIVA

Como hemos visto, la termodinámica desde el siglo pasado puso en cuestión toda una forma de entender el mundo. Si del modelo mecánico que representaba el reloj se pasó al modelo termodinámico representado por la máquina de vapor¹, ello no supuso tan solo una importante y pareja conmoción en otros aspectos y modelos que regulaban la vida social y económica, sino que también dejó, desde entonces, su huella en el pensamiento científico. De esta manera fue como el concepto de *diferencia* comenzó a cobrar nueva vida enlazado como estaba al nuevo desarrollo económico e industrial de la época². En efecto, como recoge Balandier de Prigogine, trabajar con la energía como materia prima no es más que destruir una diferencia para crear otra diferencia; en este contexto: "*La degradación, la pérdida de potencial energético, el avance hacia un orden "simple" o*

¹ "En sus apasionantes Entretiens avec Charbonnier, Claude Lévi-Strauss distingue entre sociedades "reloj" y sociedades "máquinas de vapor". Ni que decir tiene que, con el término reloj, alude a la repetición, al determinismo, al carácter casi cristalino de esas sociedades, mientras que, con el epíteto "máquina de vapor", evoca la desigualdad y la degradación." (Prigogine, 1988: 55).

² A este respecto conviene apuntar algunos conceptos más que fueron acogidos con entusiasmo y que procedían de la termodinámica. Así, el conocido epistemólogo Michel Serres escribe lo siguiente: "Las tres nociones de Reserva, Diferencia y Circulación aparecen en Sadi Carnot, para difundirse en todos los lugares de trabajo, del mundo y de los textos." (1981b: 282).

mínimo, se unen a la desaparición de las diferencias, la nivelación." (Balandier, 1989: 51).

Que toda fuerza motriz esté basada en una diferencia de potencial, se nos antoja profundamente reveladora de toda una nueva interpretación de la diferencia en términos positivos. Además, una visión y un manejo de la materia energética que hacía imposible su control absoluto no podía, a nuestro juicio, sino cambiar unas mentalidades acostumbradas como estaban a una mecánica clásica, en la que el móvil manifestaba un recuerdo de las condiciones de partida a lo largo de toda su trayectoria. Estos dos hechos resultan suficientes para abrir un nuevo escenario a la percepción científica de la época en el sentido de una mayor admiración y dedicación, por consiguiente, a los problemas de lo que hoy llamaríamos la diversidad y la autonomía y que entonces se formulaban como diferencia de potenciales y falta de control. En definitiva, esto supuso también para el conjunto de las ciencias, una toma de conciencia en el sentido que marca el hecho de que: *"Están, desde ahora, abiertas a lo imprevisible, de lo que no demuestran más que un conocimiento. Desde ahora se han abierto al diálogo con una naturaleza que no puede ser dominada con una mirada teórica, sino solamente explorada, con un mundo abierto al cual pertenecemos, en la construcción del cual participamos."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 302).

Con esta tradición teórica a sus espaldas, la teoría termodinámica de Prigogine ha servido igualmente para encarar desde nuevas posiciones epistemológicas y metodológicas la labor del científico actual³. En particular,

³ En efecto, los trabajos de investigación de Prigogine y sus distintos equipos de investigación en Austin y Bruselas acerca del comportamiento de los sistemas lejos del equilibrio y de los nuevos estados de la materia, le han permitido a éste realizar una profunda reflexión -como venimos observando- de las consecuencias que de sus descubrimientos se derivan para el desarrollo del conjunto de la ciencia. A este respecto recordamos aquí que: *"Lejos del equilibrio la actividad de un sistema puede hacerse sensible a algunos factores tales como la fuerza gravitatoria, cuyo efecto en el equilibrio sería insignificante. Hay una gran distancia, ciertamente, entre tal enunciado y los que se refieren al modo en que los hombres crean el sentido del mundo en el que viven. No se trata, y no hemos cesado de*

aquí serán consideradas algunas limitaciones descubiertas por este Premio Nobel, que ponen nuevamente en cuestión el afán de previsión determinista que algunos investigadores aún consideran como finalidad emblemática del quehacer científico y que abren la ciencia de nuestros días a una mejor comprensión de la diversidad. Todo lo cual confiamos que refleje que: *"El no-equilibrio constituye el dominio por excelencia de la multiplicidad de soluciones."* (Prigogine, 1991: 50). Para poner en evidencia las constricciones al determinismo al que hemos hecho referencia y, paralelamente, mostrar la apertura que suponen para el pensamiento científico estas limitaciones vamos, por un lado, a considerar la polémica iniciada por René Thom, conocido matemático, medalla Fields⁴, y teórico de la formulación topológica de los cambios bruscos, a propósito de la oposición *azar/determinismo* en la ciencia de nuestros días. Por otro lado, en el segundo punto de este capítulo, tendremos ocasión de constatar cómo en el propio campo de la matemática, desde el que Thom realiza su crítica al indeterminismo que subyace al *orden por fluctuaciones*, se está trabajando ya con un nuevo tipo de *atractores* que permite abandonar la oposición que establece Thom entre fluctuación e inteligibilidad científica.

De este modo, en el primer punto de este capítulo, vamos a exponer algunas de las líneas que ambos autores, Prigogine y Thom, pensadores de la problemática del *cambio*, mantuvieron en este debate. Una controversia en la

subrayarlo, de anular esta distancia, de "aplicar" los conceptos de la física lejos del equilibrio a las ciencias de la vida de los hombres, sino de definir el germen de una nueva coherencia entre las ciencias. Los físicos saben ahora que su modo de descripción, la elección de lo que puede ser despreciado o debe ser tomado en cuenta en la definición de su objeto no viene dado de una vez por todas sino que puede depender de modo intrínseco del régimen de actividad de aquello que estudian. Ellos descubren igualmente el problema de cualquier ciencia del devenir, la posibilidad de que una evolución transforme el sentido, el papel, la pertinencia de las variables en términos de las cuales quisiéramos comprenderla." (Prigogine y Stengers, 1990b: 197).

⁴ La Medalla Fields es la distinción más elevada que puede recibir un matemático -equivalente por tanto al Premio Nobel. René Thom recibió este honor en 1958 por sus trabajos acerca del co-bordismo. Thom es popularmente conocido por su *teoría de las catástrofes*. Sobre esta teoría existe una excelente introducción en Woodcock y Davis, 1986. Más especializado aunque también introductorio es el texto de Saunders, 1989.

que la aportación que desde la física realiza Prigogine se revelará, en esta ocasión, más próxima a los postulados de las ciencias sociales que los planteamientos que desde la matemática desarrollará Thom. Como el propio Prigogine ha señalado, el tratamiento de la *inestabilidad* ha modificado nuestras teorías sobre el determinismo y, además, ha actualizado la discusión entre un "sentido matemático" y otro "sentido físico" de la realidad que nos mostrará cómo, ante una misma temática, sus soluciones y enfoques diferirán⁵.

El ideal determinista, que René Thom valora como quintaesencia de la cientificidad, se ve puesto en entredicho no ya por la existencia de sistemas inestables, pues también los conoce y ha trabajado con ellos, sino por la importancia que reciben las *fluctuaciones* en los sistemas alejados del equilibrio estudiados por Prigogine. En efecto, como ya sabemos, cuando un sistema es lo suficientemente grande podemos describir a ese sistema de acuerdo con sus valores medios, despreciando las fluctuaciones como ínfimas perturbaciones. Sin embargo, la aparición de estructuras disipativas en los sistemas alejados del equilibrio, como resultado de la amplificación de fluctuaciones inicialmente microscópicas, pone en cuestión la posibilidad de descripción de esos sistemas de acuerdo con la ley de los grandes números⁶.

⁵ En palabras de Danchin: *"En efecto, si para Thom y sus adeptos el problema del cambio no se plantea más que de manera accesoria -el principio de estabilidad estructural asegura que en todas partes existen estructuras pregnantas atractivas, arquetipos de toda forma-, éste no es el caso para Prigogine que desea también dar cuenta de la dinámica del cambio a partir del nivel más microscópico, lo que impone el estudio de las constricciones existentes a este nivel, sean éstas deterministas o aleatorias."* (1990: 131).

⁶ *"La ley de los grandes números queda satisfecha por las leyes clásicas que figuran en los libros de cálculo de probabilidades, como la ley de Gauss, la ley de Poisson y otras muchas. Juega un papel de vital importancia en todos aquellos campos en los cuales se describe el comportamiento de una población. Ya hemos explicado que la ley de los grandes números, tal como la expresa el principio de orden de Boltzmann, permite la descripción termodinámica de sistemas complejos en términos de un número restringido de parámetros, tales como la presión, la temperatura, las concentraciones. No sería posible ninguna previsión física, social o económica si, en lugar de conservar el carácter despreciable que le asigna la ley de los grandes números, las fluctuaciones en grandes poblaciones pudieran en todo momento amplificarse hasta el punto de trastornar un estado que desde ese momento no podría ya llamarse estado medio."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 200).

Las fluctuaciones son las que impiden definir un sistema con precisión y, lo que es más grave, son las responsables de que el sistema se conduzca hacia un estado final completamente imprevisible. La polémica entre Thom y Prigogine nos mostrará, entre otras cuestiones, que, finalmente: *"El problema del sentido físico interviene cuando la diferencia inevitable entre una definición matemática, infinitamente precisa, de las condiciones iniciales, y una definición física, por principio aproximativa sea cual sea su grado de precisión, se traduce en una transformación radical de nuestras posibilidades de predicción."* (Prigogine y Stengers, 1990c: 254).

Por lo demás, el problema de la existencia de inestabilidades dinámicas, es preciso recordarlo, no es lo que únicamente ha puesto en evidencia la imposibilidad del determinismo. La electrodinámica, como han señalado Prigogine y Stengers, pese a trabajar con ecuaciones deterministas, postula la imposibilidad de que algún observador pueda establecer las condiciones iniciales suficientes desde las cuales hacer su futuro previsible⁷. La velocidad de la luz, en tanto que constante universal, hace inconcebible para un observador físico recibir a tiempo la información necesaria para construir las condiciones iniciales del conjunto del sistema que le permitan calcular su futuro. Como señalan estos autores: *"Todo observador está por tanto situado espacio-temporalmente, y, no puede definir de manera absoluta dos sucesos distantes como simultáneos, no puede conocer el pasado, sino únicamente "su pasado" [...]."* (Prigogine y Stengers, 1990c: 264).

De manera que, como en la electrodinámica, también en la termodinámica de los procesos irreversibles nos encontramos con una ciencia que reconoce la perspectiva, la multiplicidad de puntos de vista: *"La termodinámica también ha tenido que renunciar a la ilusión de una descripción global homogénea."* (Prigogine, 1988: 119). La consideración de un espacio

⁷ Cf. Prigogine y Stengers, 1990c: 264.

ligado al observador multiplica las posibles descripciones, irreductibles las unas a las otras puesto que se carece de una referencia de universal validez. Así es como en los sistemas alejados del equilibrio, las descripciones terminan siendo concretas y toda una serie de nuevos términos, tales como *evoluciones zonales* o *ritmos locales de desarrollo*, dan cuenta de una manera de describir al sistema desde el reconocimiento de las peculiaridades derivadas de la inexistencia de una perspectiva omnicomprensiva de la dinámica en cuestión. Ahora es, por consiguiente, cuando también desde la termodinámica de los procesos irreversibles se pone de manifiesto que: "*La naturaleza, multiplicidad de espacios surcados por procesos morfogenéticos, definidos en términos de umbrales de inestabilidad, de competencia, de captura, de dimensiones generadas, de organización espontánea, no es ya la naturaleza que el hombre "espiritual" podía describir negándola, oponiéndose a ella.*" (Prigogine, 1988: 119-120).

El no-equilibrio abre así la termodinámica a la diversidad de la multiplicidad de soluciones. No-equilibrio y no-linealidad aparecen inextricablemente unidos en la ciencia actual. Incluso la vinculación de la termodinámica a la biología tiene sentido en el nuevo contexto de la física de los procesos irreversibles. Tradicionalmente, el segundo principio de la termodinámica y su universal significado de ley de evolución hacia el desorden dejaba fuera de su ámbito de explicación la aparición de los seres vivos. Ahora no sólo sabemos que el ser vivo se encuentra lejos del equilibrio, sabemos también que en el no-equilibrio "*... la idea de ley universal hace sitio a la de exploración de estabilidades e inestabilidades singulares, el contraste entre el azar de las configuraciones iniciales particulares y las generalidad previsible de la evolución que ellas determinan deja paso a la coexistencia de zonas de bifurcación y de zonas de estabilidad, a la dialéctica de las fluctuaciones incontrolables y de las leyes medias deterministas.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 219).

Todo lo cual precisa de una nueva conceptualización matemática para el estudio de esas bifurcaciones, de esas inestabilidades singulares, de esas fluctuaciones en definitiva que, en los sistemas alejados del equilibrio, no siempre pueden ser obviadas o subsumidas por los valores medios del sistema. Como tendremos ocasión de ver en el segundo punto de este capítulo, la noción de *atractor* dará cuenta de este cambio de perspectiva, de esta apertura a la diversidad desde la propia matemática. El concepto de atractor como afirman Prigogine y Stengers "... *pudo ser en el pasado símbolo de la homogeneidad: parecía que todos los sistemas sometidos a un atractor deberían "asemejarse". Hoy día, por el contrario, la idea de atractor simboliza la diversidad cualitativa de los sistemas disipativos.*" (1990b: 77).

V.1. RESONANCIA Y FINITUD: DOS OBSTÁCULOS PARA EL DETERMINISMO.

La idea del determinismo, tal y como se expresa en Laplace, viene a exponer que el universo está hecho de tal forma que su estado presente es consecuencia de su estado pasado y aquél será causa de su estado futuro. Por lo tanto, el conocimiento en un instante preciso de las posiciones de todos los elementos que componen ese universo, así como de las fuerzas que en él actúan, permitiría conocer -mediante una misma fórmula- cualquier estado pasado de ese universo o prever con absoluta certeza cualquiera de sus estados futuros⁸. Como ha escrito Pomian: "*Ser determinista en el*

⁸ Por extraño que pueda parecer, este ideal está encarnado en la mecánica clásica. Como afirma Prigogine: "*El prototipo de la física clásica es la mecánica clásica, el estudio del movimiento, la descripción de trayectorias que trasladan un punto de la posición A a la posición B. Una de las propiedades básicas de la descriptiva dinámica es su carácter reversible y determinista. Dadas unas condiciones iniciales apropiadas, podemos predecir con exactitud la trayectoria. Además, la dirección del tiempo no desempeña papel alguno. Predicción y retropredicción son idénticas. Por lo tanto, en el nivel dinámico fundamental no parece existir lugar para el azar ni la irreversibilidad. Hasta cierto punto,*

sentido de Laplace, es pues tener por previsible, hasta en el menor detalle, de una manera unívoca y con una certidumbre absoluta, el futuro entero del universo y de cada partícula que en él se engloba." (1990: 13).

Para Laplace, la constatación de la necesidad de una inteligencia infinita para realizar los cálculos que satisfagan la verificación del determinismo del universo, lejos de convertir al determinismo en una empresa imposible digna del abandono de cualquier mente razonable, le hace ser presentada como un ideal legítimo hacia el cual debe tender el hombre⁹. Es así como el determinismo no sólo no se desanima por este hecho, sino que se convierte en una norma en la que la *previsión* es el objetivo al cual debe subordinarse el conocimiento¹⁰. Esta aspiración e identificación con la inteligencia infinita sustrae al hombre de su integración en el universo al mismo nivel que otros seres. El ser humano ya no es uno más de los entes que son afectados por las fuerzas que en el universo se dan, el hombre tiene una voluntad y un

la situación es la misma en física cuántica. En ella, ya no se habla de trayectorias, sino de funciones de onda. También aquí la función de onda evoluciona con arreglo a leyes reversibles deterministas." (1988: 20).

⁹ Dicha inteligencia infinita estaría representada por el conocido *diablillo de Laplace*, el cual, a juicio de Prigogine y Stengers, representa para la ciencia que comparte este ideal determinista, la ablación de la diversidad del mundo en aras del estricto respeto a una sintaxis científica que permanecería cerrada a lo indeterminado: "*El diablillo de Laplace, ese símbolo del mito científico es, en el cuadro de esta doctrina, una ilusión, pero es una ilusión racional. Constituye ciertamente el resultado de un paso al límite poco legítimo, pero es también la expresión del convencimiento legítimo que guía a la ciencia, constituyendo su motor: la naturaleza en su totalidad se ve por derecho sujeta a la legalidad que poco a poco los científicos descifran de hecho. Donde quiera que vaya, sea cual fuere lo que interroga, la ciencia no obtendrá la misma respuesta, sino la misma forma de respuesta. Una sintaxis universal articula todas las respuestas posibles. Esta es la justificación filosófica de la semejanza entre la constitución de una estructura formal cerrada, como el lenguaje de la dinámica, y el proyecto de la descripción completa de un mundo homogéneo.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 122).

¹⁰ La importancia de la *predictibilidad* de los modelos deterministas es fundamental para ser considerados como tales. De hecho, la mecánica clásica es considerada como la expresión matemática por excelencia del determinismo laplaciano. Las *relaciones de incertidumbre* de Heisenberg, que plantean que la determinación de la posición de una partícula en un momento dado indetermina el cálculo de la velocidad de esa partícula en ese mismo instante, le costó a la mecánica cuántica algunas sospechas en cuanto a su carácter científico. Y es que la precisión con la que puede predecirse la posición de un móvil en la mecánica clásica sobre la base del conocimiento de su posición inicial y su velocidad, constituye la mejor tarjeta de presentación del éxito de los modelos deterministas.

propósito.

Con el determinismo laplaciano nos encontramos, en definitiva, ante una filosofía científica que dibuja la separación sujeto/objeto sobre la base de la pertenencia del sujeto al reino de los fines, al reino de la inteligencia: "... *Laplace propone pues una solución rigurosamente dualista: identificado con la inteligencia, el sujeto cognoscente es exterior al objeto e incluso al universo, [...].*" (Pomian, 1990: 16). Esta solución a las relaciones entre el espíritu humano y el universo, tiene su análoga separación en las relaciones del espíritu humano con Dios. Para Laplace, la historia aparece como el terreno apropiado para esas relaciones dado que la historia misma es igualmente exterior a la naturaleza¹¹. En definitiva, la diferencia entre la filosofía científica laplaciana y la propuesta que realiza Prigogine a través de la termodinámica de los procesos irreversibles se sustenta en que: "*El determinismo sólo es concebible para un observador situado fuera del mundo, cuando lo que nosotros describimos es el mundo desde dentro.*" (Prigogine, 1988: 15).

Pues bien, una renovada polémica sobre la cuestión determinista surge en nuestra época a raíz de las teorías del orden a través del desorden. En efecto, para René Thom, matemático especializado en topología¹² y autor

¹¹ Esta exterioridad del ser humano y de su historia respecto al resto del universo, que es postulado en el determinismo laplaciano, es la causa de un cierta monotonía de la ciencia que hace reflexionar a Prigogine y Stengers en el siguiente sentido: "*Nos hemos hecho eco de la queja según la cual la ciencia y la física en particular, desencanta al mundo. Pero lo desencanta precisamente porque lo diviniza, porque niega la diversidad y el devenir natural, de los cuales Aristóteles hacía el atributo del mundo sublunar, en nombre de una eternidad incorruptible, única susceptible de ser pensada verdaderamente. El mundo de la dinámica es un mundo "divino" sobre el cual no hace mella el tiempo, del cual están para siempre excluidos el nacimiento y la muerte de las cosas*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 294).

¹² Podemos considerar a la topología como la parte de la matemática que se dedica al estudio, clasificación y manipulación de las *formas*. Se trata de una descendiente de la geometría que ha renunciado al empleo de nociones cuantitativas tales como distancia, tamaño, etc.. Por lo que se relaciona con la llamada matemática cualitativa. En concreto, René Thom es un reconocido especialista en topología diferencial. "*La geometría griega era esencialmente atemporal: cualquier triángulo o círculo del mundo real era considerado como una "sombra" imperfecta, mutable, de la forma matemática ideal,*

de la teoría de las catástrofes, el programa de investigación que realizan estas teorías del orden a través del desorden está destinado a hacer surgir lo descriptible a partir de lo indescriptible, la organización a partir de la fluctuación y a añadir, en definitiva, un importante elemento de indeterminación a la caracterización de la evolución de un sistema inestable. Todo lo cual no hace, a juicio de Thom, más que proporcionar, finalmente, un duro golpe a esa filosofía determinista que es la que debe conducir la actividad científica.

Es en este sentido que, en un debatido artículo, René Thom considera que al amparo de las teorías desarrolladas por von Foerster, Prigogine y Atlan -entre otros- el azar y el ruido están cobrando en la ciencia actual una importancia desmesurada frente a la necesaria estrategia determinista que debe presidir la tarea de cualquier hombre de ciencia. Así, este topólogo escribe que: *"Afirmar que "el azar existe", es tomar esta posición ontológica que consiste en afirmar que hay fenómenos naturales que nosotros no podríamos jamás describir, por tanto jamás comprender."* (Thom, 1990a: 62). Iniciando de esta manera una cruzada de defensa del determinismo desde la topología matemática contra el indeterminismo que Prigogine anuncia en el dominio de la termodinámica de los procesos irreversibles¹³. Una polémica

eterna. Thom utiliza la topología diferencial para partir de la premisa opuesta: que los cambios de forma (en los procesos así como en los objetos) son reales, y que el objetivo de la ciencia es captar lo que él llama "la incesante creación, evolución y destrucción de formas" del universo." (Woodcock y Davis, 1986: 20).

¹³ En este sentido, recogemos lo siguiente: *"Es cierto que las leyes termodinámicas aún expresan cierta "universalidad" de comportamientos en las proximidades del equilibrio: todos los sistemas termodinámicos están sujetos a la misma evolución monótona hacia el equilibrio o hacia un estado estacionario cercano al equilibrio. Más allá del umbral de estabilidad, sin embargo, el concepto de leyes universales se ve reemplazado por la exploración de comportamientos cualitativamente distintos que dependen no solamente de los mecanismos involucrados, sino también del pasado del sistema. No es posible afirmar que, en cada instante, "todo viene dado", precisamente porque la definición del estado en el cual se encuentran dichos sistemas ya no puede ser puramente instantánea, sino que ha de tener en cuenta las sucesivas bifurcaciones encontradas en el pasado. El determinismo da lugar a una dialéctica compleja entre el azar y necesidad, a la distinción de regiones de inestabilidad y de regiones estables entre bifurcaciones donde prevalecen leyes deterministas. El orden por las fluctuaciones rechaza el Universo estático de la dinámica en favor de un mundo abierto en el cual la actividad crea*

que, curiosamente, terminará actualizando la acertada predicción del epistemólogo Michel Serres en relación a las nuevas líneas de debate científico cuando escribió algunos años atrás que: *"El par topológico-energético generaliza el antiguo proceso de conocimiento por figuras y movimientos, que tomaba sus valores en la geometría de Euclides y en una mecánica somera del equilibrio y de los transportes."* (1981b: 281).

La importancia y atención que Prigogine presta a la fluctuación, de naturaleza indescriptible¹⁴, para el devenir de un sistema alejado del equilibrio, es considerado por René Thom como una deslealtad al espíritu científico, como una "preciosidad literaria"¹⁵. Sin embargo, más allá del calificativo preciosista, lo cierto es que en la clase de sistemas estudiados por Prigogine: *"Se impone una descripción plural que ponga en juego puntos de vista y modos de descripción distintos, que, en consecuencia, no suscite ya la ilusión de que la física busca el nivel definitivo fundamental de descripción, a partir del cual todo estaría dado."* (Prigogine, 1988: 90). En definitiva, en el debate científico azar/determinismo, para Prigogine no se trataría tanto de optar por una defensa del azar, cuanto de constatar las constricciones e imposibilidades que los sistemas fuera del equilibrio imponen a los intentos de descripción determinista¹⁶. Por contra, en el caso de Thom, éste acata una

la novedad, la evolución es innovación, creación y destrucción, nacimiento y muerte." (Prigogine y Stengers, 1990a: 227).

¹⁴ "Lo propio de una fluctuación es ser indescriptible (se puede solamente hacer la estadística de un conjunto de fluctuaciones); desde que una fluctuación individual aumenta hasta el punto de presentar características polarizadas, orientadas (desde que presenta correlaciones de gran dimensión), ella puede ser descrita, y cesa en consecuencia de ser fluctuación para devenir perturbación..." (Thom, 1990a: 70).

¹⁵ Cf. al respecto Thom, 1990a: 71, 77.

¹⁶ En este sentido, merece la pena recordar lo escrito por Prigogine: *"Por consiguiente, un elemento irreductible de indeterminación caracteriza la evolución de un sistema más allá del umbral de la inestabilidad. No todo está dado cuando se especifican las condiciones en los límites y la composición del sistema. Naturalmente, son calculables los distintos estados estables posibles, pero hay que esperar y observar la evolución del sistema para saber qué fluctuación se producirá y se amplificará, y hacia qué estado estable se dirigirá el sistema. No se trata del simple problema de concretar una descripción. La*

postura decididamente determinista por cuanto que afirma que: *"El azar -se ha visto- es un concepto enteramente negativo, vacío, por consiguiente sin interés científico. El determinismo, al contrario, es un objeto de una riqueza fascinante -para quien sabe escrutarlo."* (Thom, 1990a: 75).

Afortunadamente, no todas las posturas presentan la radicalidad de la que hace gala René Thom y, lo que es más, no todos consideran a Prigogine como un abanderado de las posiciones, en última instancia, indeterministas en la investigación científica. Así, Danchin se muestra más conciliador cuando afirma que: *"Exigir la permanencia de las leyes de la naturaleza es la base misma de la creación científica, pero pedir que esta permanencia se continúe en todos los niveles de los fenómenos reales es una actitud generalizadora abusiva [...]"* (1990: 129)¹⁷. Y manifiesta, igualmente, que si bien el estudio de las estructuras disipativas ha constituido para la termodinámica la incorporación de un principio indeterminista nuevo, también ha conservado una cierta cantidad de modos deterministas de descripción.

En este sentido, Danchin valora a la irreversibilidad como una característica que asegura la asimetría y por tanto la causalidad. Por consiguiente, en lo que a la existencia de causalidad se refiere, la teoría de Prigogine se muestra parecida a los modelos deterministas. La diferencia con esos modelos radica en que la teoría de Prigogine no establecería una existencia unívoca de soluciones, como ocurre en los modelos deterministas

fluctuación y las leyes macroscópicas pertenecen a dos modalidades de descripción mutuamente excluyentes; aunque fuera posible una descripción mecanicista, que pretendiese poder predecir la fluctuación, resultaría inútil para dar un sentido al concepto de sistema, de condiciones en los límites. Para poder plantear el problema de la estabilidad, se requieren a la vez y simultáneamente las condiciones en los límites macroscópicos y las fluctuaciones elementales." (1988: 90).

¹⁷ Una actitud similar manifiesta Ruelle cuando en torno a la problemática que nos ocupa escribe lo siguiente: *"Fundamentalmente, el determinismo corresponde a la idea de que el futuro puede ser predicho con precisión a partir del presente. El azar, al contrario, corresponde a la imposibilidad de una tal predicción. A decir verdad, los dos conceptos no son tan inconciliables como pudiera parecer a primera vista: se puede simultáneamente predecir ciertas cosas con precisión, y otras no."* (1990: 155).

una vez fijadas las condiciones iniciales. De este modo, la irreversibilidad daría cuenta de la causalidad: "*Pero puesto que múltiples caminos son posibles, puesto que hay "bifurcaciones", la irreversibilidad predice la existencia, pero no el lugar exacto ni la posición exacta, al contrario de lo que ocurre en los modelos deterministas.*" (Danchin, 1990: 136).

Tal vez la ilustración que mejor se corresponda con lo que aquí se está tratando, sea el cada vez más popular *efecto de la mariposa*. Este efecto ha sido expuesto por el meteorólogo Edward Lorenz y ha sido desarrollado con el nombre técnico de la llamada *dependencia sensitiva de las condiciones iniciales*. Este fenómeno viene a explicar cómo es que una pequeña perturbación del estado inicial de un sistema puede traducirse, en un breve lapso de tiempo, en un cambio importante en el estado final del sistema. Volviendo al popular efecto de la mariposa éste vendría a decir muy sintéticamente que "... *si agita hoy, con su aleteo, el aire de Pekín, una mariposa puede modificar los sistemas climáticos de Nueva York el mes que viene.*" (Gleick, 1988: 16). En definitiva, ésta podría ser la imagen característica de esta causalidad indeterminista que aquí representa Prigogine a los ojos de Thom, la dependencia sensitiva de las condiciones iniciales amplifica las fluctuaciones hasta convertirlas en perturbaciones, que acaban con la posibilidad de determinar el estado final del sistema alejado del equilibrio. Como afirma Ruelle: "*Vemos así cómo el azar reaparece en una teoría del más puro determinismo laplaciano: como no conocemos el presente más que con una precisión limitada, no podemos sino deficientemente prever el futuro de tiempos moderadamente largos.*" (1990: 158).

Es así como lo que termina poniéndose en cuestión es la capacidad predictiva de la ciencia para determinados fenómenos ligados a los sistemas inestables. Como ha puesto de manifiesto Balandier, tal vez lo que debemos aceptar es que: "*La imprevisibilidad no es necesariamente el signo de un conocimiento falso o imperfecto; es el resultado de la naturaleza de las cosas,*

es necesario dejarle su lugar y su cualidad." (1989: 63). Llegados a este punto, no podemos dejar de plantear con toda radicalidad el problema de la precisión limitada con la que únicamente podemos conocer el presente. Y es que la *finitud* de nuestro conocimiento como obstáculo al determinismo, no es algo que haya sido únicamente puesto de manifiesto para los sistemas inestables. Respecto a la finitud de nuestro conocimiento se ha desarrollado, como se sabe, el aspecto lógico de la misma mediante el llamado principio de incompletitud de Gödel según el cual: "*Se admite en adelante que es imposible llegar a una descripción absolutamente lógica de la totalidad del mundo, porque siempre estará presente una falla bajo la forma de proposiciones indecidibles, en las cuales el carácter de verdad o falsedad será indemostrable, [...].*" (Balandier, 1989: 56).

Pero es como imposibilidad física como va a ser entendida y desarrollada aquí la finitud. Ciertamente, es en los sistemas inestables donde más fácil resulta tomar conciencia del problema, si bien la limitación o el carácter finito que presenta la definición de las condiciones iniciales de un sistema es genérica a cualquiera de los existentes. No obstante, como hemos tenido ocasión de ver con Thom, aún hay quien considera posible aceptar un cierto determinismo, pese a que haya transcurrido algo más que una década desde que Brillouin afirmara en los cincuenta que: "*Todo sistema físico está incompletamente definido.*" (1988: X).

La razón de esta disonancia hemos tenido ocasión de comprobarla cuando, en la introducción de este capítulo, anotábamos en palabras de Prigogine y Stengers la diferencia existente entre un cierto "sentido físico" de la medida, siempre aproximado, y un particular "sentido matemático" de la misma, todo lo preciso que se quiera. En definitiva, lo que el análisis de Brillouin puso de manifiesto a la hora de definir o averiguar las condiciones en las cuales se encuentra un sistema es que: "*El acrecentamiento local del orden se paga con un acrecentamiento global de la entropía.*" (Balandier,

1989: 53). De este modo, a nuestro juicio, en lo sucesivo habría que ir elaborando un dispositivo que nos permitiese responder a la pregunta de cuál es el rendimiento de cada uno de los distintos métodos de investigación en relación al coste entrópico generalizado que suponen, frente a la precisión neguentrópica local que se desea obtener¹⁸.

Este coste energético que supone cualquier intento de medición o de definición de un sistema o de sus condiciones iniciales, es exponencial respecto al grado de precisión que se desee conseguir, como ha puesto de manifiesto Prigogine al estudiar la evolución de un sistema dinámico en el conocido proceso denominado como *transformación del panadero*¹⁹. Tan curioso nombre proviene de la acción de amasar que realizan estos profesionales con el objeto de repartir uniformemente la materia prima que constituye el pan. Consideremos ahora como un sistema, la masa que emplea un panadero para hacer una pieza de pan, pues bien, puede decirse que tras varios y sucesivos movimientos de las manos de este artesano sobre el sistema, pese a estar suficientemente especificados dichos movimientos, llega un momento en el que resulta imposible predecir la posición de dos partículas, inicialmente tan próximas como se quiera, y esto, en un período relativamente corto de tiempo²⁰. Este hecho pone en evidencia la imposibilidad de realizar

¹⁸ Como escribe Brillouin: *"Esta manera de ver está explicada por el principio de neguentropía de la información que se presenta como una generalización inmediata del segundo principio de la termodinámica puesto que la entropía y la información deben ser estudiadas a la par y no pueden ser examinadas separadamente. El principio de neguentropía de la información se encuentra verificado en un gran número de ejemplos variados, obtenidos de la física teórica, en su estado actual. El punto fundamental es mostrar que toda observación o experiencia efectuada sobre un sistema físico conduce automáticamente a un crecimiento de la entropía del laboratorio. Es entonces posible comparar la pérdida de neguentropía (crecimiento de la entropía del laboratorio) a la cantidad de información obtenida. El rendimiento es siempre inferior a la unidad conforme al principio de Carnot generalizado. Los ejemplos demuestran que no puede ser próximo a la unidad más que en algunos casos particulares; en los otros casos es muy pequeño."* (1988: X).

¹⁹ Cf. Prigogine, 1988: 214-215.

²⁰ *"Podemos mostrar que para predecir sobre tiempos cada vez más largos (linealmente) la evolución de este tipo de sistema, hay que disponer de una precisión cada vez más fina (en sentido exponencial) en el conocimiento de las condiciones iniciales. Cualquier conocimiento finito de este*

una predicción determinista incluso en sistemas donde se realiza una modificación punto a punto determinista, o mejor dicho en el caso de la masa de pan, partícula a partícula.

Pero, ya que hablamos de partículas, hablemos también de las *colisiones* que se producen entre ellas para comprender mejor este nuevo obstáculo que se opone al determinismo y que se denomina *resonancia*. "*La colisión, transferencia de cantidad de movimiento y energía cinética entre dos partículas, constituye, desde el punto de vista dinámico un ejemplo de resonancia.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 203). Pues bien, la resonancia ha supuesto para los sistemas dinámicos, el punto de inflexión necesario para desarrollar una teoría cinética en la que, el concepto mismo de resonancia, ha dejado de ser sólo un obstáculo para la descripción determinista en términos de trayectorias en los sistemas dinámicos "*...para convertirse en un nuevo principio de descripción, intrínsecamente irreversible y probabilista.*" (Ibídem). Es decir, las colisiones entre partículas acaban con la posibilidad de tratar con trayectorias en los sistemas dinámicos. Y es que hoy día, a la luz de lo que supone el determinismo, casi deberíamos abandonar la noción de trayectoria²¹. Como afirma Prigogine: "*Es evidente que la descripción de*

sistema implica la pérdida del concepto de predicción determinista. Ahora bien, cualquiera que sea nuestra información sobre el sistema, tal información no nos puede ser dada más que a través de una ventana finita. Y por tanto, finalmente, la descripción dinámica clásica, ligada al concepto de trayectoria (puesto que una trayectoria es el paso de un punto a otro), se ha perdido definitivamente." (Prigogine, 1991: 57-58).

²¹ A juicio de Prigogine, incluso la mecánica clásica está en entredicho: "*¿Podemos, al menos, saber en qué dirección caminamos? Sólo puedo dar mi opinión personal. Creo que cada vez nos alejamos más del ideal clásico y de su concepción de causalidad, expresada mediante leyes deterministas, en el marco de las cuales no puede hacerse distinción entre pasado y futuro. Mi convicción se basa primordialmente en los recientes trabajos en mecánica clásica. El prototipo de objeto totalmente regido por una ley determinista es sin paliativos la trayectoria definida por la mecánica clásica. Una vez dadas las condiciones iniciales, puede seguirse una trayectoria tanto en el futuro como en el pasado, puede calcularse la posición y la velocidad de un móvil en cualquier momento, pasado o futuro. Pero se ha visto que los estudios actuales demuestran que, salvo en casos muy simples, la situación dista mucho de estar clara. En uno u otro sentido, la mayoría de los sistemas dinámicos en cuestión son inestables, lo que esencialmente significa que unos puntos, tan próximos como queramos en un momento inicial, pueden pertenecer a trayectorias divergentes o, mejor dicho, a trayectorias de distinto tipo. Lo que se plantea, es saber qué significación puede conservar el concepto de trayectoria*

trayectoria corresponde a un conocimiento "infinitamente" preciso de las condiciones iniciales que nunca puede alcanzarse en la práctica." (1988: 215).

Por lo demás, las colisiones entre las partículas de un sistema, ponen en evidencia la flecha del tiempo. En efecto, en la perspectiva del ideal de omnisciencia determinista, las colisiones que hacían evolucionar a un sistema hacia el estado de equilibrio, eran consideradas como equivalentes a aquellas otras que se dan cuando el sistema se aleja de dicho estado. Pues bien, estos dos tipos de colisiones son cualitativamente diferentes. Las colisiones que se producen entre las partículas de un sistema que se dirige hacia su estado de equilibrio, destruyen "pre-correlaciones" que existían con una cierta *coherencia* en el sistema alejado del equilibrio²². Esto significa que las colisiones y el *flujo de correlaciones* que se producen entre las partículas del sistema que se dirige hacia el equilibrio "... en el transcurso del tiempo de evolución, se pierden en un "mar" de correlaciones infinitamente múltiples e incoherentes." (Prigogine y Stengers, 1990b: 203). En definitiva, todas las investigaciones aquí señaladas, sus resultados y conclusiones terminan por indicar que: "*Hoy día la física, lejos de proponer a las otras ciencias una visión única, descubre -en su propio dominio- una realidad múltiple a la que no puede dar sentido sin reconocer al mismo tiempo, la diversidad irreductible de los problemas que se le plantean a otras ciencias.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 72-73).

cuando ninguna observación, por precisa que sea, puede darnos información sobre el tipo de trayectoria que sigue un objeto dinámico." (1988: 148).

²² Una detallada exposición respecto a las colisiones y la dinámica de correlaciones puede verse en George, 1988.

V.2. DE LA NOCIÓN DE ATRACTOR COMO SÍMBOLO DE HOMOGENEIDAD A LA NOCIÓN DE ATRACTOR COMO SÍMBOLO DE DIVERSIDAD.

En el punto anterior hemos presentado implícitamente a Prigogine y a Thom como dos pensadores del *cambio* y, sin embargo, como se ha visto en relación a sus respectivas posturas ante el determinismo, ambos autores lo son aunque con importantes matices. Ahora, tomando como guía la noción de *atractor*, vamos a exponer la apertura que, desde la matemática, se ha producido en una dirección coherente con las consecuencias que las investigaciones de Prigogine han supuesto para la ciencia actual. La noción de atractor va a ser desarrollada desde la perspectiva de dos matemáticos conocidos por sus concepciones acerca del azar: Benoît Mandelbrot²³ y el propio René Thom. Sendos investigadores han trabajado o han influido poderosamente con sus respectivas teorías de los *objetos fractales*²⁴ y de la *teoría de catástrofes* en el concepto de atractor que aquí nos ocupa. Si bien, como tendremos ocasión de mostrar, en el caso de Thom haciendo uso de unos atractores que nos conducían hacia lo homogéneo, hacia el cambio estable²⁵; mientras que Mandelbrot ha hecho posible el uso de un concepto de atractor que nos abrirá el camino hacia la diferencia y la diversidad, en definitiva, hacia la dinámica del cambio inestable²⁶.

²³ Mandelbrot, ingeniero de la Escuela Politécnica de París, combina actualmente su trabajo como profesor de matemáticas en la Universidad de Harvard con la investigación para la multinacional IBM. Es conocido por la creación y desarrollo de la teoría matemática y método de análisis denominado *fractal*. Esta teoría, que ve la luz a principios de los sesenta, tiene su base en el concepto de *autosimilitud*, propiedad que se da en aquellos sistemas cuyas estructuras permanecen constantes al variar la escala de observación.

²⁴ Sobre la teoría de los objetos fractales, pese a ser mucho lo publicado, no conocemos mejor introducción, en este caso, que la obra del propio autor. Véase al respecto: Mandelbrot, 1988.

²⁵ Sobre este aspecto puede verse a Woodcock y Davis, 1986: 21-27.

²⁶ El papel jugado por la matemática en esta representación del *cambio* ha sido muy discutido, tachándosele a veces de conservador. Merece la pena reproducir aquí la reflexión hecha por Prigogine y Stengers a propósito de esta cuestión: "*La complejidad está aquí unida a la inestabilidad. Significa una disociación profundamente inesperada entre la inteligibilidad de un fenómeno y la posibilidad de predecirlo. El descubrimiento de atractores extraños o fractales y su influencia en la exploración de los*

En el transcurso de este capítulo hemos tenido ocasión de discutir acerca de un "sentido físico" y un "sentido matemático" de la medida. Indicando que, en última instancia, es siempre el sentido físico de la medida el que se emplea, y es que de lo que se trata en el caso de la ciencia no es de reproducir, por ejemplo, un experimento en las mismas y rigurosamente exactas condiciones en las que se realizó la experiencia original sino, más concretamente, lo que se debe garantizar en la actividad científica ordinaria, como escribe Saunders, es: "*... que si repetimos el experimento aproximadamente en las mismas condiciones obtendremos aproximadamente los mismos resultados.*" (1989: 21). Este carácter que nos permite dar por equivalente algo que sólo es en realidad aproximado y que, por lo demás, es genéricamente, un elemento de supervivencia esencial para cualquier ser vivo, pues le permite identificar, pongamos por caso, la misma clase de alimentos o el mismo tipo de amenaza con independencia de la particular forma²⁷ con la que se presenten en ese momento, recibe el nombre de *estabilidad estructural*²⁸.

fenómenos observables para descubrir, entre las series de observaciones fenomenológicas aleatorias, las que podrían ser expresión de un sistema dinámico determinista relativamente simple, constituyen una notable ilustración de la inventiva del diálogo científico. El papel desempeñado por las matemáticas en este diálogo en ocasiones ha sido puesto en cuestión: nos llevan a la búsqueda de las leyes, de las regularidades, de lo que es reproducible y dominable. Vemos aquí que las matemáticas son un factor esencial de esa inventiva. ¿Cómo podemos, sin ellas, concebir la extraña idea de una predicción de la imprevisibilidad? El rigor de las matemáticas no esclaviza al pensamiento, sino que le proporciona la audacia que alimenta y vuelve a plantear sin cesar las preguntas que nosotros formulamos a la naturaleza." (1990a: 344).

²⁷ Este fenómeno es presentado por René Thom como la explicación, en último extremo biológica, por la que se ha desarrollado con gran interés una *morfogénesis* de lo animado que no ha tenido parangón con una paralela morfogénesis de lo inanimado: "*Este desinterés de los hombres de ciencia por la morfogénesis inanimada tiene probablemente también un origen biológico; en efecto, todo nuestro aparato perceptivo está genéticamente modelado para detectar a los seres vivos que, ya como presa, ya como depredadores, desempeñan un gran papel en nuestra supervivencia y en el mantenimiento de nuestro equilibrio fisiológico; en cambio, los objetos inanimados sólo despiertan una atención distraída y pasajera y sólo en la medida en que su forma evoca la forma de un ser vivo.*" (Thom, 1987: 33).

²⁸ Sobre el concepto y aplicación de la noción de *estabilidad estructural* al campo de las ciencias sociales, merece destacarse la reflexión realizada por García-Olivares quien, a propósito de esta cuestión, manifiesta lo siguiente: "*El estudio de la estabilidad estructural permite plantear el problema del cambio cualitativo y de la evolución no-reversible de los sistemas complejos, temas tradicionalmente ligados a las ciencias humanas, sociales y biológicas. El modelo de la estructura disipativa requiere, de*

Pues bien, esta clase de estabilidad en las *formas* no es, ciertamente, muy diferente de la que estamos acostumbrados a tratar en la mecánica clásica "... *excepto que el sistema ha de ser resistente no a perturbaciones a partir de una posición de equilibrio, sino a perturbaciones de las condiciones en que se realiza el experimento.*" (Saunders, 1989: 20-21). Sin embargo, ambas condiciones, *estabilidad y reproducibilidad*, no llegan a ser posibles en el caso de los sistemas inestables²⁹. Concretamente: "*Lejos del equilibrio los procesos ya no pueden comprenderse a partir de los estados en los que, en promedio, compensan sus efectos.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 102). De tal manera que la estabilidad estructural de un sistema, podríamos definirla como la propiedad que hace que podamos considerar a las perturbaciones que afectan a ese sistema, como incapaces de cambiar el estado del sistema que

una parte, la descripción continua y macroscópica, independiente del detalle de los comportamientos individuales (Durkheim), y por otra, la consideración de elementos microscópicos, discontinuos, capaces en ciertas condiciones, de reestructurar el sistema mediante microordenaciones espontáneas que se retroalimentan positivamente.

Como plantea Prigogine, el advenimiento de este nuevo paradigma posibilita un lugar de encuentro "real" entre las ciencias naturales y las ciencias sociales y humanas. Condición para ello es que no se intente imponer un modelo cerrado y particular (como la cibernética de máquinas artificiales) a sistemas mucho más complejos, como se ha hecho con frecuencia desde la antigua teoría de sistemas. Se trata, como plantearía Hegel, de "dejar hablar al concepto" en su propia historia de auto-organización y cambios cualitativos.

En conclusión, cabe empezar a pensar en la posibilidad de aplicar, desde un marco mucho más abierto que la antigua teoría de sistemas, modelos matemáticos a sistemas sociales y humanos. Estos "sistemas" deben siempre ser considerados como (véase Prigogine y Morin):

a) Coherentes: Tienen un comportamiento coherente entre sus partes. Esta coherencia se manifiesta en un amplio rango que va desde la aparición de correlaciones entre microprocesos elementales hasta una auténtica re-producción (en ciclo) de la existencia misma del sistema.

b) No-aislados: Intercambian energía, materia e información con el mundo externo y por tanto se mantienen lejos del "equilibrio" (o situación de entropía máxima).

c) No estables: Están permanentemente en peligro de sufrir reestructuraciones. Lo más que se puede afirmar es que son más o menos "metaestables" en ciertas condiciones." (García-Olivares, 1988: 244-245).

²⁹ A este respecto Giulio Giorello y Simona Morini, en una entrevista a René Thom, recogen una cita de Maxwell que puede ayudarnos a ilustrar la relación existente entre la estabilidad estructural, la precisión de la medida y los sistemas inestables: "*Maxwell escribía en 1876: "Cuando el estado de las cosas es tal que una variación infinitamente pequeña del estado presente altera tan sólo en una cantidad infinitamente pequeña el estado en un momento futuro, se dice que la condición del sistema, en reposo o en movimiento, es estable; pero cuando una variación infinitamente pequeña del estado presente puede causar una diferencia finita en un tiempo finito, se dice que la condición del sistema es inestable. Es evidente que la existencia de condiciones inestables hace imposible la previsión de acontecimientos futuros, si nuestro conocimiento del estado presente es sólo aproximado y no preciso."*" (Thom, 1993: 12-13).

se trate. Podríamos decir que el estado del sistema está guiado por un elemento que le atrae, por una tendencia que le hace perseverar en él y que le identifica. Ese elemento que atrae el sistema hacia sí es al que denominamos *atractor* del sistema³⁰.

Ahora bien, hasta hace relativamente poco tiempo, el atractor de un sistema dinámico podía ser un punto aislado o una línea; en estos casos, la propiedad de la estabilidad estructural o de la reproducibilidad del atractor era deducible de manera inmediata y, consecuentemente, también la estabilidad del sistema dinámico, que era representado por esos atractores³¹. Este es el caso de los atractores considerados por Thom³² para el estudio del cambio estable en un sistema. En la actualidad, más genéricamente, el atractor puede llegar a ser incluso un conjunto denso de puntos, lo bastante denso como para que sea posible encontrar puntos en cualquier parte del mismo, en esta circunstancia diremos entonces que nos encontramos en presencia de un

³⁰ Briggs y Peat nos ofrecen una ilustrativa ejemplificación del concepto de atractor: "...imaginemos un paisaje ondulante alrededor de un valle. Rocas redondas y lisas ruedan colina abajo hasta el fondo del valle. No importa dónde empiecen a rodar las rocas ni con qué velocidad. Eventualmente todas terminarán en el fondo del valle. En vez de las colinas y los valles de un paisaje real, pensemos en colinas y valles de energía. Los sistemas naturales son atraídos por valles de energía y se alejan de las colinas de energía." (1990: 36). En esta bella descripción diríamos que el fondo del valle constituiría para un matemático el atractor o el *punto atractor fijo*. Un antecedente a este concepto podemos encontrarlo en Laplace, así: "Cuando Laplace estaba trabajando sobre la mecánica celeste a principios del siglo XVIII, desarrolló un "atajo" matemático muy conveniente para representar la acción de la fuerza gravitatoria. Se trata del potencial, un concepto que resumía en una sola cantidad todas las fuerzas que actuaban sobre un objeto. En lugar de decir que el objeto cambiaba su movimiento hasta que no actuaban más fuerzas sobre él, uno podía decir que se movía a una posición de potencial mínimo. Esto permitía a Laplace aplicar las técnicas del cálculo de variaciones: hallar la posición final del objeto significaba hallar una solución mínima para la ecuación del potencial." (Woodcock y Davis, 1986: 50).

³¹ Al respecto: "Como ya habíamos mencionado, el estado atractor une la estabilidad al olvido de las perturbaciones; y es este tipo de estabilidad lo que da sentido a la idea de reproducibilidad: en circunstancias semejantes se producirá una evolución semejante; la estabilidad asociada a los estados atractores permite que las circunstancias "semejantes" en cuestión no impliquen una identidad de sistemas hasta en sus menores detalles, sino solamente su pertenencia a la misma cuenca de atracción." (Prigogine y Stengers, 1990a: 15).

³² A este respecto y además para una definición matemática del concepto de atractor estructuralmente estable cf. Thom, 1987: 62.

atractor extraño, como ha sido denominado por Ruelle³³, o también con un *atractor fractal*, como igualmente es conocido por ser esta última la imagen y dimensión que toma esta región o conjunto atractor³⁴. Sobre estos últimos se ha dicho que: "*Los atractores de este tipo implican, por parte del sistema al que caracterizan, un comportamiento de tipo caótico. Atractor y estabilidad dejan de ir juntos a partir de este punto.*" (Prigogine y Stengers, 1990a: 16).

En definitiva, es esta clase de atractores, extraños o fractales, quienes abren paso a la posibilidad de caracterizar a los sistemas inestables mediante el recurso a esta representación matemática, pues ya no es posible identificar de manera exclusiva atractor con estabilidad o con reproducibilidad. En termodinámica, del estado de equilibrio que resistía a las perturbaciones, insensible a las pequeñas variaciones de sus parámetros y que era fácilmente representado por un atractor estable, pasamos ahora a poder caracterizar también mediante atractores, pero en esta ocasión fractales, la dinámica de los sistemas inestables o alejados del equilibrio. Esta posibilidad que se nos ofrece, se debe a la sensibilidad a las condiciones iniciales que manifiesta no sólo el sistema alejado del equilibrio sino también, coherentemente con él, el atractor fractal³⁵.

Por consiguiente, debido a la propiedad que hemos denominado como

³³ Acerca de la autoría en la denominación *atractor extraño* existe una cortés polémica entre Ruelle y Taken dado que ambos científicos firmaban el artículo en el que se presentaba dicho concepto. Véase sobre el particular a Gleick, 1988: 141.

³⁴ Así nos presenta Prigogine al atractor fractal: "*Se ha descubierto hace poco que el punto atractor es, a menudo, un conjunto de puntos, y que el sistema es atraído primero por un punto, después por otro, y todavía por otro. Se habla entonces de un atractor extraño.*" (1991: 90).

³⁵ Como afirman Prigogine y Stengers: "*Toda pequeña variación es susceptible de producir efectos sin medida, de trasladar el sistema de un estado a otro muy diferente, lo cual, dado que dichas variaciones son esencialmente inevitables, significa que el sistema "vagará" sin fin de un estado a otro explorando el conjunto del "espacio de fases", es decir, el espacio recubierto de manera fractal por sus posibles estados atractores, adoptando un comportamiento análogo al de los regímenes de turbulencia que nos encontramos en la vida diaria.*" (1990a: 16).

dependencia sensitiva de las condiciones iniciales o también *sensibilidad a las condiciones iniciales* que manifiestan los sistemas inestables, su representación mediante atractores simples tales como un punto o una línea, resultaba imposible para los sistemas alejados del equilibrio. La razón se encontraba en la circunstancia de que pequeñas variaciones en las condiciones iniciales del sistema provocaban, en un tiempo relativamente corto³⁶, la imposibilidad de conocer la evolución futura del sistema y por tanto su atractor. De hecho, en los sistemas inestables, situaciones iniciales tan próximas como se desearan, podían generar evoluciones divergentes. Así pues el uso de los atractores clásicos que eran sinónimo de estabilidad estructural, de olvido de las perturbaciones, de reproducibilidad quedaba absolutamente desaconsejado para los sistemas inestables, precisamente por el significado que tenían y que no era otro que el de "...retorno a lo mismo", cualesquiera que sean las particularidades iniciales." (Prigogine y Stengers, 1990b: 82).

Sin embargo, los nuevos atractores, denominados fractales o extraños, poseen la propiedad de la sensibilidad a las condiciones iniciales, la más mínima diferencia o perturbación no sólo no es reducida o subsumida como en el caso de los atractores simples, sino que el atractor fractal da cuenta de esta complejidad en la evolución del sistema dado que: "*Por cualquier región,*

³⁶ El lapso de tiempo al que nos referimos se sitúa en el marco del conocido como *tiempo de Lyapounov*. En efecto: "*El tiempo de Lyapounov permite definir una verdadera "escala de tiempos", la escala de tiempo con respecto a la que la expresión "dos sistemas idénticos" -dos sistemas que corresponden "a la misma descripción inicial" conserva un sentido efectivo. Después de un tiempo de evolución grande frente al tiempo de Lyapounov, el conocimiento que teníamos del estado inicial del sistema ha perdido su pertinencia y ya no nos permite determinar su trayectoria. En este sentido, los sistemas caóticos se caracterizan por un horizonte temporal definido por el tiempo de Lyapounov, horizonte que eventualmente podemos desplazar pero nunca anular. En efecto, si quisiéramos prolongar el tiempo durante el que podemos predecir una trayectoria en dichos sistemas aumentando la precisión de su definición y, por lo tanto, restringiendo la clase de los sistemas que consideramos como "los mismos", el precio a pagar se haría desmesurado rápidamente [...] Como un verdadero horizonte, el horizonte temporal de los sistemas caóticos señala la diferencia entre lo que podemos "ver" desde donde estamos y lo que hay más allá -la evolución que ya no podemos describir en términos de comportamiento individual sino solamente en términos de comportamiento errático común a todos los sistemas caracterizados por el atractor caótico.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 85).

por pequeña que sea, ocupada por un atractor fractal pasan tantas trayectorias como queramos, y cada una de estas trayectorias conoce un destino diferente de los demás." (Prigogine y Stengers, 1990b: 82). Por esta razón, a nuestro juicio, el atractor fractal es un *instrumento analítico complejo*³⁷ para la representación de los sistemas inestables o alejados del equilibrio, dado que una *dimensión fractal*³⁸ es capaz de hacer inteligible un proceso de cambio, cargado de fluctuaciones, de perturbaciones que pueden hacer evolucionar el sistema hacia cualquier punto del conjunto fractal y, sin embargo, el fractal no reducirá el proceso o la evolución del sistema a un comportamiento estable o reproducible³⁹.

De este modo, hoy día nos encontramos con que, incluso en el ámbito de la matemática, donde el concepto de atractor era un modo de caracterizar la estabilidad o la reproducibilidad de un sistema, lejos de haber ganado la batalla lo simple, lo regular, lo homogéneo, ha sido la complejidad, la

³⁷ Para nosotros, la explicación de esta calificación que hemos otorgado al atractor fractal encuentra su origen en la siguiente reflexión: *"Esta idea de complejidad representa, creemos nosotros, la diferencia principal entre el enfoque analítico y la retórica reduccionista. Mientras que esta última, de una forma o de otra, concluye con un "nada más que", porque se basa en la relativa simplicidad de los comportamientos elementales para intentar juzgar el comportamiento del conjunto, el enfoque analítico, frente a un comportamiento dado, permite pensar que éste no es el único posible, que en otras circunstancias lo que tenemos es capaz de otras muchas cosas. Lejos de conducir a la idea de un mundo más simple, el análisis nos permite acceder a un mundo complejo, que no podemos ya juzgar, pero que debemos explorar."* (Prigogine y Stengers, 1990a: 352).

³⁸ "Dimensión fractal. Sentido genérico: Número que sirve para cuantificar el grado de irregularidad y fragmentación de un conjunto geométrico o de un objeto natural. La dimensión fractal no es necesariamente entera." (Mandelbrot, 1988: 168).

³⁹ Sobre este particular, Prigogine escribe lo siguiente: *"Sin entrar en los detalles de los cálculos matemáticos, podemos destacar que el interés fundamental, independientemente del modelo climático concreto, reside en el hecho de que ahora podamos afirmar que la información contenida en un millón de años de temperaturas puede ser simulada en un sistema con cuatro ecuaciones diferenciales no-lineales. ¿Cuáles son las cuatro variables que producen este atractor? Nada sabemos: podemos hacer la hipótesis del campo magnético, de la cantidad de oxígeno, de la posición de la trayectoria terrestre. Pero sabemos que no se trata de un juego de azar, que en la base de la enorme complejidad existente en las fluctuaciones de las temperaturas hay un determinismo complejo. Esta complejidad, reflejada por el atractor, explica la inestabilidad del clima: la menor perturbación proveniente del mundo externo o de fluctuaciones internas puede hacer oscilar de un clima frío a un clima cálido y viceversa."* (1991: 92).

diversidad y la diferencia, quienes se han descubierto analíticamente más potentes mediante la noción de atractor fractal. Así, como han escrito Prigogine y Stengers: "... *la asociación entre atractor macroscópico y estabilidad se revela no por una propiedad general, sino que es un caso particular dentro del campo de los fractales [...].*" (1990a: 19). Un giro que supone toda una nueva apertura del lenguaje de la física, esta vez de manos de la termodinámica que, en su específico ámbito, ha logrado igualmente hacer que el estado de equilibrio, desde el cual se observaban genéricamente todas las dinámicas, no sea a partir de ahora más que "... *el estado singular en el que las correlaciones son de alcance e intensidad nulas.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 20). En definitiva, la ciencia cada vez nos ofrece más muestras de estar dotándose de una sensibilidad hacia lo diverso y lo complejo en donde: "*Comprender una historia no es reducirla a regularidades subyacentes ni a un caos de sucesos arbitrarios; es comprender a la vez coherencias y sucesos: las coherencias en tanto que puedan resistir a los sucesos y condenarlos a la insignificancia o, por el contrario, ser destruidas o transformadas por algunos de ellos; los sucesos en tanto que pueden o no hacer surgir nuevas posibilidades de historia.*" (Prigogine y Stengers, 1990b: 54).

SEGUNDA PARTE

LA AUTO-ORGANIZACIÓN EN LAS CIENCIAS DE LO VIVO: HENRI ATLAN Y LA COMPLEJIDAD A TRAVÉS DEL RUIDO

LA AUTO-ORGANIZACIÓN EN LAS CIENCIAS DE LO VIVO: HENRI ATLAN Y LA COMPLEJIDAD A TRAVÉS DEL RUIDO.

"¿Qué es un sistema viviente, sino una isla de neguentropía, torbellino abierto temporalmente, emisor y receptor de flujos de energía y de información." (Serres, 1981b: 287). Hace tan sólo unas décadas que esta pregunta definitoria del problema de la vida habría sido tachada como de completamente descabellada y fuera de toda lógica. Hoy día, sin embargo, hemos visto cómo desde la física de los procesos irreversibles, pueden lanzarse ya puentes sólidos a la explicación de la vida desde los supuestos de aquella primera ciencia de la complejidad que fue y es la termodinámica. Con Henri Atlan, tendremos oportunidad de proseguir nuestro intrincado recorrido por las teorías de la auto-organización y sus implicaciones para el conjunto de la ciencia desde la perspectiva del paradigma del orden a través del desorden. Nuevas ciencias continuarán apareciendo ante nuestros ojos para darnos cuenta de viejas problemáticas, desde la biofísica que constituirá el capítulo sexto de esta tesis doctoral, pasando por la inteligencia artificial en el capítulo séptimo, para terminar con la bioantropología del conocimiento en el capítulo octavo, la ciencia -desde sus actuales planteamientos de complejidad- extiende su campo de acción y conocimiento a nuevos ámbitos desde los cuales intenta dar soluciones al ya viejo y, no obstante siempre actual,

problema del origen de la vida.

También aquí, en el estudio del origen de la vida, encontraremos la auto-organización como proceso desde el que enfrentar la cuestión de la morfogénesis de lo vivo desde unas consideraciones valiosamente transdisciplinares. Más aún, será el *nivel de observación* quien se constituirá paralelamente, en Atlan, no sólo en una de las claves desde las que entender el proceso de auto-organización -junto con el *azar* de las perturbaciones-, sino que, desarrollando sus implicaciones epistemológicas, también contribuirá a dar una de las más claras explicaciones de la diversidad de las ciencias. Así, como nos indica el propio Atlan: *"Como se ve, la aparición de las propiedades específicas en un nivel de organización más global corresponde a la constitución de una disciplina propia con sus propios instrumentos de observación y de análisis, su lenguaje especializado: física, química, biología celular, fisiología y embriología, psicología, sociología. Y esto plantea, por lo demás, una cuestión a la cual, quizá, no es posible responder con certeza: ¿en qué medida la separación en diferentes niveles de integración en un sistema integrado existe "objetivamente", o bien depende de las técnicas de observación, de experimentación y de análisis por las que tenemos acceso a estos distintos niveles?"* (1991a: 69-70).

Y es que la transición de lo local a lo global, la emergencia de comportamientos colectivos coherentes y la transdisciplinariedad continúan siendo características perdurables del problema de la auto-organización, desde cualesquiera de los múltiples y variados enfoques en los que se ha tratado esta problemática. Todo lo cual hace que no podamos olvidar, en ningún caso, lo señalado en el capítulo introductorio, a saber: la auto-organización ha conformado una temática de investigación que, más allá de su concreta resolución, plantea la revisión de los límites disciplinares comúnmente aceptados entre las distintas ciencias. Por lo demás, al descubrimiento estructural de la auto-organización en las ciencias de la materia -en forma de

estructuras disipativas- tendremos oportunidad de añadir ahora el descubrimiento de la *auto-organización funcional* en el ámbito de las ciencias de lo vivo. En este sentido, las últimas investigaciones desarrolladas por Henri Atlan -mediante redes de autómatas- tendentes a estudiar la aparición de la novedad y del sentido como efectos de la acción conjunta de una serie de elementos conectados entre sí, presenta una ventaja adicional que frente al estudio directo de estas propiedades en los sistemas naturales tales como "... *los organismos vivos o los sistemas sociales reside evidentemente en que todo es conocido al respecto, y que se puede por tanto intentar seguir paso a paso el pasaje de lo local a lo global y la emergencia de propiedades globales de auto-organización a partir de propiedades individuales de los elementos.*" (Atlan, 1983: 115).

CAPÍTULO VI

EL ORIGEN DE LA VIDA:

LA BÚSQUEDA DE UNA LÓGICA DE LO IMPROBABLE

**EL ORIGEN DE LA VIDA:
LA BÚSQUEDA DE UNA LÓGICA DE LO IMPROBABLE**

La física ha constituido para las ciencias de lo vivo una sólida referencia de cientificidad. Una referencia que ha sido empleada bien para establecer una caracterización propia de las ciencias de lo vivo con claras consecuencias metodológicas, según las cuales la explicación de los fenómenos ligados a la vida no podrían corresponder a principios causales clásicos tales como los que postulaba el determinismo laplaciano; bien para considerar a las ciencias de lo vivo plenamente integradas en el modelo científico clásico y determinista que la física venía defendiendo de modo tradicional. A este respecto, las relaciones que los biólogos han mantenido con la física clásica como modelo del método y de la mentalidad científica, podrían clasificarse en dos líneas diferenciadas a las que cabría denominar como *línea continuísta* y *línea rupturista*. Sendas líneas han quedado reflejadas en un ámbito tan importante para la propia biología cual es el de la temática sobre el origen de la vida. En efecto, alrededor de este asunto ha tenido lugar una habitual disputa en la que las posiciones, cuyas líneas hemos indicado más arriba, se han visto representadas y expuestas por ambos sectores de la investigación biológica.

Así, en una de estas líneas, la rupturista respecto a la física clásica, se

encuadran todos aquellos biólogos que, bajo el nombre de *vitalistas*, se consideran defensores de las posturas que sostienen que fenómenos como el desarrollo embrionario o la adaptación al entorno "*... no podían entenderse más que sobre la base de propiedades vitales particulares, dirigiendo la evolución y el comportamiento de los organismos de manera finalizada, al modo de una consciencia que sabría con antelación el objetivo que ella debe alcanzar y organiza las cosas en función de ese objetivo.*" (Atlan, 1986a: 152). Por el contrario, para los biólogos más en la línea continuista con la física clásica, los calificados de *mecanicistas*, mantendrían que dado que la materia viva está formada en última instancia por átomos y moléculas, las propiedades de los organismos vivos: "*... debían poder ser explicadas como aquellas de los otros sistemas físicos y químicos, de manera causal únicamente, en aplicación del principio de razón suficiente y sin hacer apelación a ninguna finalidad.*" (Ibídem).

Esta polémica, que se ha prolongado hasta mediados de este siglo, ha sido permanente hasta que la llamada biología molecular ha descubierto la estructura del ADN y el código genético. Estos descubrimientos han supuesto la conducción paulatina de las posiciones vitalistas fuera del laboratorio de investigación biológica, toda vez que el hallazgo del soporte físico-químico de algunas de las propiedades o características de los sistemas vivos tales como la reproducción, los caracteres hereditarios, la producción de enzimas etc., han hecho progresivamente menos operativo el enfoque vitalista¹. Y, sin

¹ A este respecto cabe anotar la siguiente reflexión: "Las teorías vitalistas afirmaban de un modo puramente negativo que era imposible explicar los sistemas vivos por la física y la química y que la vida era algo exterior al campo de las leyes físicas, y puesto que las teorías eran puramente negativas (seguía siendo imposible aislar los fluidos o espíritus vitales que, según se afirmaba, explicaban las propiedades al parecer no físicas de la vida), las tentativas que pretendían conciliar las observaciones biológicas con la física y la química prosiguieron. De hecho los logros más importantes han sido conseguidos, en este sentido, durante los últimos decenios -gracias esencialmente a la biología molecular- en los que estos descubrimientos han eliminado prácticamente las teorías vitalistas y han llevado a los tan extendidos conceptos de programa genético y desarrollo epigenético con respecto al desarrollo del individuo, así como a las teorías neodarwinistas de la evolución de las especies por mutaciones aleatorias seguidas de la selección natural por el entorno.

Es cierto que esta conciliación de la física y de la biología se ha obtenido gracias a una extensión de la

embargo, como ha señalado Atlan, estos descubrimientos no han logrado eliminar del todo la percepción de una cierta *finalidad* en el comportamiento de los organismos, bien en su adaptación al medio bien en los procesos de morfogénesis o de desarrollo embrionario. Estos comportamientos o procesos, marcadamente finalistas, han constituido un importante reducto para las posiciones específicamente rupturistas de la tradición científica clásica, hasta tal punto que han llegado a constituirse en el motivo de una distinción entre dos tipos de finalidad: la *teleológica* y la *teleonómica*².

La teleología se encontraría situada en los posicionamientos más decididamente vitalistas, en los cuales la finalidad que parece manifestarse en determinados comportamientos y procesos de los organismos, constituiría la prueba más palpable de la existencia de propiedades vitales irreducibles al soporte físico-químico de la materia viva. El nuevo concepto de teleonomía, por el contrario, no sólo daría cuenta de la existencia de algún tipo de finalidad sino que, en concreto, substraería a esta última de cualquier implicación específicamente vitalista. En este sentido, la teleonomía daría cabida a la explicación de fenómenos finalistas tales como los de adaptación y desarrollo en los organismos vivos sin que ello significase una renuncia a los postulados de la ciencia clásica, tradicionalmente representados por la física y el *principio de razón suficiente*. Como señala Atlan, la teleonomía realizaría

física y la química a nuevos campos que implican nuevos métodos, nuevos modos de pensamiento, especialmente los de la bioquímica y de la biofísica. Estas extensiones -aunque se trate de conceptos que no han sido del todo esclarecidos- nos proporcionan hoy algunas conclusiones que nos permiten comprender cómo una especie de inversión del tiempo durante el desarrollo del individuo y la evolución de las especies no contradice, forzosamente, las leyes de la termodinámica." (Atlan, 1990a: 174-175).

² Esta distinción, que fue propuesta y desarrollada por Pittendrigh, permitiría más adelante la incorporación de la nomenclatura cibernética al campo de la biología. Básicamente, como señala Atlan: "... el programa de investigación de Pittendrigh, que él designaba por la palabra teleonomía, y asumido entonces por la gran masa de biólogos, consistía en identificar en los organismos vivos un mecanismo en el que las finalidades podrían ser tratadas como finalidades físicas aceptables; dicho de otro modo, un mecanismo en el que la finalidad permanecería mecánica, es decir sin consciencia y sin intención; y en el que este carácter mecánico sería tanto más evidente cuanto que sería posible simularlo y predecir las consecuencias del mismo con la ayuda de métodos deductivos facilitando unos medios de predicción determinista." (1986a: 156).

una valoración de la finalidad de algunos procesos vitales que no supondría, en ningún caso, el alejamiento de las ciencias de lo vivo respecto de los postulados de la ciencia clásica, y ello: *"Esencialmente por dos razones: 1º) Se trata, por supuesto, de una finalidad sin consciencia y sin intencionalidad; 2º) Se trata además de una finalidad calculable y que permite la predicción determinista de hecho incluso se expresa en un formalismo lógico-matemático deductivo."* (1986a: 155-156).

Por la misma época en la que tenía lugar el debate de las posiciones teleológicas frente a las teleonómicas, un nuevo tipo de máquinas surgidas o derivadas de las *teorías cibernéticas*, expresaba materialmente las consecuencias que el modelo teórico de la finalidad de carácter teleonómico había destacado, es decir, desarrollaba una finalidad no consciente y carente de intencionalidad³. En efecto, el ordenador o la computadora ejecutaban un programa de manera determinista y predecible en todo punto y, sin embargo, la máquina era a su vez inconsciente respecto a la tarea que realizaba, además de ejecutar el programa sin intencionalidad propia alguna. El *modelo*

³ Como destaca el propio Atlan: *"... la finalidad antigua, en biología, molestaba porque tenía siempre un tufo religioso: implicaba siempre, aun sin decirlo, una providencia que dirige el desarrollo de un embrión (e incluso la evolución de las especies, como en Teilhard de Chardin) hacia su estadio final. Por el contrario, la nueva finalidad sería aceptable al haber brotado no de un idealismo teológico, sino de un neo-maquinismo."*

En efecto, la propia noción de máquina ha cambiado y es de eso de lo que no se toma a menudo conciencia, ignorándose sus consecuencias en este tipo de debate. Antaño existía oposición entre máquina y sistema organizado. Sólo los seres vivos estaban organizados. Para Maupertius (Ensayo sobre los seres organizados), o para Kant, la organización era la característica irreductible de la vida; a ella se oponía la máquina, cuyo modelo era el péndulo, luego el reloj, luego la máquina de vapor, máquinas en las que estaba ausente toda organización: no se hallaba en ellas, al revés que en los seres vivos, ninguna finalidad dirigida por procesos de control. La cibernética, hace una treintena de años, revolucionó la idea de máquina y la de organización. Las nociones de control, de feedback, de tratamiento de información cuantificada, aplicadas a las máquinas (servo-mecanismos, ordenadores, robots) hicieron aparecer por primera vez seres inexistentes hasta entonces: las máquinas organizadas. A partir de entonces, la aplicación de conceptos brotados del conocimiento de estas máquinas a los seres vivos descritos como "máquinas naturales" sólo fue una justa inversión de las cosas; nociones vinculadas a la organización fueron aplicadas al mundo de lo vivo, del que habían sido extraídas previamente para inspirar la tecnología de las nuevas máquinas artificiales. Pero, entre tanto, tales nociones habían cambiado por completo de sentido: la organización no es ya el resultado de propiedades misteriosas y no dominables ligadas a la propia existencia de la vida, dado que se comprende su lógica en el caso de estos nuevos sistemas que son las máquinas organizadas." (1990a: 23-24).

teleonómico encontraba por consiguiente en la combinación de la cibernética con las teorías de la información, los conceptos y las hipótesis que le permitirían un más rápido desarrollo operativo, tanto más evidente cuanto que la estructura molecular de las proteínas y del ADN eran analizadas como si de un mensaje codificado se tratase. De este modo, la respuesta que desde las posiciones mecanicistas y teleonómicas se elaboraba para explicar el origen de las determinaciones finalistas que se observaban en ciertos fenómenos vitales podrían resumirse en la frase "*... todo como en un ordenador, el origen de esas determinaciones se encuentra en el programa, el origen de las determinaciones genéticas de los organismos vivos y su modo de funcionamiento son los de un programa inscrito en los genes de este organismo.*" (Atlan, 1989a: 423).

Como es sabido, hoy día es ésta la línea de investigación y, si se nos permite, diríamos que incluso el paradigma dominante de la investigación biológica; la ingeniería genética se muestra, asimismo, como una de las especialidades más pujantes en el campo de las ciencias de lo vivo. Sin embargo, la noción de *programa* genético se encuentra con una dificultad cuyos intentos de resolución no sólo han proporcionado algunas de las teorías e hipótesis más brillantes de la actualidad en las ciencias de lo vivo y en la llamada *inteligencia artificial* sino que han facilitado, además, la indicación de uno de los campos más fecundos en el que las teorías y conceptos de la *auto-organización* pueden mostrarse más oportunos en el ámbito de las ciencias de lo vivo⁴. En efecto, el grave problema con el que se encuentra la línea de

⁴ Como se sabe, en la actualidad el problema del origen de la vida está, en el paradigma biológico dominante, estrechamente ligado al del descubrimiento y comprensión de la lógica que hace surgir el primer programa. En este sentido, es importante destacar que: "*Todos los trabajos sobre la lógica de la auto-organización, particularmente, van en ese sentido. El concepto de sistema auto-organizador aparece como un modo de concebir los organismos vivos en forma de máquinas cibernéticas de propiedades particulares. Sin embargo, claro está que los únicos sistemas auto-organizadores (y los únicos autómatas autorreproductores) conocidos hasta ahora son las máquinas naturales cuya "lógica", justamente, no se conoce de modo preciso. En estas condiciones es posible interrogarse sobre la utilidad de la terminología que consiste en reemplazar el término "organismo" por el de "sistema auto-organizador" o "autómata autorreproductor", sin que por ello se sepa cómo se realizan tales funciones.*"

investigación del programa genético es, obviamente, el de la ausencia de un programador. Como el propio Atlan ha escrito: " *"Programa de origen interno", "programa que se programa él mismo", "programa que tiene necesidad de los productos de su ejecución para ser leído y ejecutado"*: tales son las expresiones más corrientes de las dificultades de la metáfora del programa genético." (1986a: 160).

Por lo demás, a la ausencia de un programador identificable en el paradigma del programa genético hay que añadir otra dificultad más, cual es, la de las relaciones o interacciones de ese programa con su entorno más inmediato. En efecto, en todo desarrollo epigenético se producen interacciones que no están programadas, hecho éste que añade un elemento más de arbitrariedad al pretendido determinismo clásico del paradigma del programa genético. Este suceso constituye la base de la conocida distinción entre el *genotipo* y el *fenotipo*. Así, el genotipo como expresión del conjunto de genes que un individuo porta sería, para un esquema perfectamente determinista, el equivalente virtual del desarrollo observable de ese individuo en su posterior apariencia fenoménica o fenotípica. Sin embargo, sabemos

De hecho, esta utilidad es indiscutible: cuando se usa esta terminología se quiere decir, implícitamente, que las funciones más extraordinarias de los organismos vivos son el resultado de principios cibernéticos particulares que se trata de descubrir y de precisar. Como principios particulares deben dar cuenta del carácter propio de los organismos vivos que realizan dichas funciones. Pero como principios cibernéticos son postulados en continuidad con los demás campos de la cibernética, mejor conocidos, que se aplican a los autómatas artificiales. Las consecuencias de este postulado son dobles: a) La especificidad de los organismos vivos está vinculada a principios de organización más que a propiedades vitales irreductibles; b) una vez descubiertos estos principios, nada debiera impedir aplicarlos a autómatas artificiales cuyas funciones se harían entonces iguales a las de los organismos vivos. En esta perspectiva, las investigaciones formales sobre la lógica de los sistemas auto-organizadores (que son a la vez hipotéticos, en el sentido de que nadie los ha realizado nunca, y muy reales, sin embargo, en el sentido de que la naturaleza los proporciona en abundancia pueden presentar cierto interés. En este marco, trabajos como los de M. Eigen son interesantes no sólo porque proporcionan un modelo de evolución química que permite representarse el origen de la vida, sino sobre todo porque aportan un análisis muy penetrante de la lógica de lo que puede representarse como una auto-organización de la materia aparentemente finalista, con progresivo aumento de complejidad. Del mismo modo, los trabajos de I. Prigogine y su escuela, los de A. Katzir-Katchalsky y sus colaboradores, han mostrado cómo aparecen, en sistemas físico-químicos lejanos del equilibrio, propiedades auto-organizadoras como consecuencia de acoplamiento de flujo y de fluctuaciones aleatorias." (Atlan, 1990a: 26-27).

que un fenotipo no es nunca una traducción "literal" de un genotipo⁵.

Así pues, el modelo del programa de ordenador se muestra insuficiente para dar cuenta de la finalidad no intencional que presupone el concepto de teleonomía. No obstante, otros modelos teóricos aparecen para dar cuenta de la observada finalidad de algunos procesos vitales sin necesidad de recurrir a la perspectiva vitalista⁶. Es aquí donde nos encontramos con la entrada y puesta a punto de nuevos modelos en los que la problemática de la *auto-organización* aparece ya con total nitidez. En efecto, tanto el problema de la

⁵ La pretendida transformación determinista y biunívoca de cada gen del genotipo de un individuo en un carácter fenotípico de ese mismo individuo, tropieza, desgraciadamente para este esquema, con que: *"En general, un carácter fenotípico está bajo la dependencia de múltiples genes y un gen interviene en la determinación de múltiples caracteres. Dicho de otro modo, lo que es determinante, son las interacciones entre múltiples genes que son capaces de determinar numerosos caracteres diferentes. Como en la traducción de una lengua a otra, un diccionario, que permite solamente una traducción palabra a palabra, no basta para traducir el sentido de las frases. Es preciso además la sintaxis; en las lenguas artificiales como los lenguajes de ordenador, la sintaxis, es decir la estructura lógica de la lengua y el código de símbolos, basta para decir lo que se quiere decir. Pero en las lenguas naturales, incluso esto no es suficiente; el sentido de las frases depende además de otros factores, esencialmente el contexto y la situación en la cual son pronunciadas, y también la situación en la que son entendidas o leídas.*

En el caso del código genético, no conocemos ni siquiera la sintaxis del lenguaje de programación. Todo lo que conocemos, es un diccionario que permite pasar de las palabras escritas en la lengua de los genes, los ADN, a las palabras escritas en la de las enzimas, las proteínas. Y esto es todo. Cómo esas palabras constituyen frases que quieren decir alguna cosa, es decir cómo los genes interaccionan los unos con los otros, determinan una célula en función o un organismo en desarrollo, está aún muy mal comprendido." (Atlan, 1986a: 162-163).

⁶ Ciertamente, como afirma Atlan: *"Las primeras reflexiones críticas sobre la noción de programa genético hablan mostrado ya los límites de la metáfora del programa: se trata, en efecto, de un programa que necesita de los productos de su lectura y de su ejecución (las proteínas-enzimas que regulan la transcripción y la traducción de los ADN) para ser leído y ejecutado. O también, como se dice a veces, de un programa "de origen interno". Ahora bien, está claro que no se conocen tales programas en las máquinas artificiales. De hecho, la analogía de un programa como secuencia de instrucciones conduce a la idea de que una célula es, por entero, su propio programa que se construye, por tanto, a medida que la máquina funciona, al modo de un ordenador que se construyera a sí mismo. Dicho de otro modo, cuando se intenta, más allá de su innegable valor operativo en la actual práctica biológica, comprender la significación de estas metáforas cibernéticas aplicadas a la biología, se llega inevitablemente al planteamiento de nuevas preguntas.*

Evidentemente, es posible extraer argumentos para satisfacerse con la antigua posición negativa y decir: "Ya ven, sólo se trata de metáforas y la biología moderna no explica realmente, en términos físico-químicos y mecanicistas, los fenómenos de lo vivo." Pero esta actitud, puramente negativa y esterilizante, no se justifica en cuanto estas nuevas preguntas se plantean en una nueva lengua, y las respuestas que reclaman implican, inevitablemente, no una reducción de lo vivo a lo físico-químico, sino una ampliación de éste a una biofísica de los sistemas organizados, aplicable a la vez a las máquinas artificiales y naturales." (1990a: 25-26).

ausencia de un programador del genotipo, como la falta de determinismo en el desarrollo y transformación de un genotipo en un particular fenotipo, convergen en la idea de auto-organización. Una idea que desde los años sesenta estaba presente, pero que no había alcanzado la madurez suficiente como para permitir una reflexión sobre sus consecuencias teóricas así como sobre sus aplicaciones prácticas. Sin embargo, como ha precisado Atlan: *"Hoy éste no es el caso, y esto ocurre porque la problemática de la auto-organización puede ser retomada sobre la base de técnicas que se han beneficiado del progreso en teoría de algoritmos y de su complejidad, en análisis de sistemas dinámicos no lineales, y en inteligencia artificial."* (1986a: 164).

En este sentido, el interés originario por la noción de *programa interno* o primer programa, desaparece en provecho de un concepto y un proceso previo al que realiza el programa: la *auto-organización*. La reproducción y su vinculación con el programa genético como mecanismo de continuación de la vida debe, lógicamente, ser planteado con posterioridad a los procesos auto-organizadores que dan existencia a la vida misma⁷. En efecto, los mecanismos reproductores y los conceptos y teorías a ellos vinculados *"... no pueden ser eficaces más que en relación a un sistema ya auto-organizador, y no en sí mismos, del mismo modo que una memoria no tiene verdadera eficacia más que cuando forma parte de un sistema organizado y no puede ser confundida con la organización del sistema mismo."* (Atlan, 1972: 282). En esta perspectiva, cabe pues un enlace entre los procesos físico-químicos estudiados en la primera parte de esta tesis doctoral y la propia investigación

⁷ En efecto, como señala Atlan: *"... un principio de reproducción de sistemas integrados es muy difícil de admitir como primer principio, pues la reproducción implica la existencia anterior de lo que es reproducido. Un tal principio spinozista de perseverancia en el ser no podría ser admitido más que si se tratase de seres en equilibrio. Pero desde que se tiene relación con sistemas en estado de no equilibrio, la reproducción no puede ser primera, ni lógicamente, ni cronológicamente. Lo que es primero, es la perturbación que desvía y mantiene lejos del equilibrio. La reproducción es entonces un mecanismo sobreañadido gracias al cual esta desviación es mantenida de manera más eficaz y más económica."* (1972: 223-224).

biológica acerca del origen de la vida⁸. Así, no deja de resultar significativo que aquí se señale el hecho de que: *"El origen de la vida no constituye entonces una ruptura cualitativa inexplicable; la única discontinuidad reside en la agregación de memorias a unos sistemas auto-organizadores."* (Atlan, 1972: 283)⁹.

VI.1. INFORMACIÓN Y PROBABILIDAD.

Cuando se produce un suceso siempre podemos aprender algo del mismo. Seguramente para observadores distintos, aquello que pueda enseñarles un mismo suceso diferirá en cuanto al significado que cada uno de los observadores extraerá de la experiencia acontecida. Sin embargo, hay un conocimiento común que todos ellos pueden alcanzar. Lo mínimo que un suceso puede enseñar a todos sus observadores es propiamente la aparición del suceso. Es decir, el hecho mismo de que se haya producido un

⁸ A este respecto, merece destacarse el complejizante papel que, en el paradigma del orden a través del desorden, se concede a la perturbación aleatoria y cómo ésta funciona además como nexo de unión en las teorizaciones físicas y biológicas. Así, Atlan manifiesta que: *"El único verdadero proyecto es todavía, aquí como en todos los sistemas físicos, el del retorno al equilibrio, es decir a la muerte. Todo lo demás, es decir la organización, el crecimiento, el desarrollo, el aprendizaje y la reproducción invariante misma, no son del orden del proyecto, sino al contrario perturbaciones aleatorias que felizmente lo contrarían. Los organismos vivos aparecen así como sistemas suficientemente complicados, redundantes y fiables, para reaccionar a las agresiones aleatorias del entorno de tal suerte que el alcance del estado de equilibrio, es decir de la muerte, no sea posible más que a través de los desvíos de eso que se ha acordado en llamar la vida."* (1972: 284).

⁹ En continuidad con este razonamiento, el propio Atlan nos indica que la aparición de seres vivos hablantes constituiría un paso más en la extensión de memorias, en este caso, la adición de memorias culturales a sistemas auto-organizadores con memorias genéticas. Para ambas memorias, es decir, tanto en la memoria genética como en la memoria cultural, sería de aplicación aceptable para nosotros la reflexión realizada por Atlan según la cual: *"Las dificultades lógicas que hemos expuesto, concernientes a la cuestión de los programas de origen interno, y que se reencuentran bajo la forma de la cuestión sobre el origen del primer programa, desaparecen desde que se reconoce que no se trata de verdaderos programas, sino de procesos de creación de orden a partir de ruido, conservados y amplificados por puesta en memoria."* (1972: 282-283).

acontecimiento es lo menos de lo que nos informa cualquier evento. Pues bien, la teoría de la información se dedica a medir este mínimo, sin tener en cuenta, por tanto, la significación que para cada observador pueda tener el hecho de que se haya producido el suceso. En este sentido, y con arreglo al concepto de *información* desarrollado por la teoría del mismo nombre, puede decirse que cuanto más inesperado sea el suceso producido tanta más información contendrá para el observador¹⁰. A este respecto, la cantidad de información que contiene un fenómeno diremos que está en relación directa con la *probabilidad* que éste tiene de suceder. De este modo, cabría la posibilidad de conocer la cantidad de información que nos aporta la aparición de un determinado fenómeno con sólo advertir cuál es la probabilidad de que ese evento ocurra. Como ha escrito Atlan: "*Es a veces posible medir el carácter previsto o imprevisto a priori de este acontecimiento: cada vez que se puede conocer su probabilidad de aparición.*" (1972: 8).

Por lo demás, la relación que se produce entre las nociones de *información* y de *probabilidad*, así como el uso que tradicionalmente se ha hecho de la estadística en la termodinámica, ha permitido ligar por la vía de

¹⁰ En efecto, como indica Atlan: "*La cantidad de información total de un mensaje es una magnitud que mide, en gran número de mensajes escritos en la misma lengua con el mismo alfabeto, la probabilidad media de aparición de las letras o símbolos del alfabeto, multiplicada por el número de letras o símbolos del mensaje. La cantidad de información media por letra se designa a menudo con el nombre de cantidad de información o entropía del mensaje, gracias a la analogía entre la fórmula de Shannon, que la expresa a partir de las probabilidades de las letras, y la fórmula de Boltzmann que expresa la entropía de un sistema físico con la ayuda de las probabilidades de los distintos "estados" en los que el sistema puede encontrarse. Esta analogía, objeto de numerosos trabajos y discusiones, está, entre otras razones, en el origen del rápido desbordamiento de la teoría de la información del marco de los problemas de comunicaciones en el campo del análisis de la complejidad de los sistemas. La cantidad de información de un sistema, compuesto de partes, se define entonces a partir de las probabilidades que pueden asignarse a cada uno de sus componentes, en un conjunto de sistemas que se suponen estadísticamente homogéneos los unos con los otros; o también a partir del conjunto de las combinaciones que es posible realizar con sus componentes, lo que constituye el conjunto de los estados posibles del sistema. En cualquier caso, la cantidad de información de un sistema mide el grado de improbabilidad de que el ensamblaje de los distintos componentes sea resultado del azar: cuanto mayor es el número de elementos distintos que componen un sistema, mayor es su cantidad de información, pues más grande es la improbabilidad de constituirlo tal cual es, ensamblando al azar sus constituyentes. Por ello, esta magnitud ha podido ser propuesta como una medida de la complejidad de un sistema, al constituir una medida del grado de variedad de los elementos que lo forman.*" (1990a: 48-49).

su formulación las expresiones de *entropía* e información. Así, debe destacarse el parecido formal entre las expresiones matemáticas que emplea Shannon para medir la cantidad de información de un sistema y la fórmula de Boltzmann para medir la entropía¹¹. De manera que, como ha indicado el propio Atlan: *"Con la teoría de la información, en vez de probabilidades de presencia de moléculas en un estado dado, se trata, de modo más general, de probabilidades de presencia de signos en un lugar dado del mensaje, [...]."* (1990a: 35). Atlan se refiere, evidentemente, a un tratamiento de la información carente de significación, como hemos tenido oportunidad de indicar más arriba; lo que no es óbice -antes al contrario- para establecer el paralelismo entre ambas formulaciones. De tal modo que, como escribe Atlan: *"La utilización por Shannon de las probabilidades para medir la información sin significación es idéntica a la de Boltzmann para medir el grado de desorden molecular de una muestra de materia."* (1990a: 36).

Ya hemos señalado que los sucesos más probables resultan ser los menos informativos, dado que la información a la que se refiere la teoría que lleva su nombre lo que nos mide, en última instancia, es la sorpresa que causa en el observador un determinado suceso, sobre la base de la escasa probabilidad que tiene de ocurrir dicho suceso. De modo que, si un sistema cerrado tiende a aumentar la función denominada *entropía* y si esta última, a su vez, se corresponde con el máximo *desorden* molecular, ciertamente, no debe extrañarnos, el que a una fórmula parecida a la que mide la entropía sólo que con signo negativo, se le atribuya el medir el orden. Siendo el orden, por

¹¹ A este respecto debe señalarse el gran interés que reviste dicha coincidencia: *"Su importancia es muy grande tanto desde el punto de vista de la teoría de la información como desde el de la termodinámica. En efecto la teoría de la información no es de entrada más que una teoría estadística desarrollada fuera del marco conceptual de las ciencias físicas. Una relación real entre cantidad de información y entropía significa que no solamente esta noción de información tiene un interés práctico en el tratamiento estadístico de ciertos problemas de comunicación, sino que también expresa una realidad física universal en relación con las otras magnitudes físicas mensurables tales como la energía, la temperatura, etc... y que entra de pleno derecho en el dominio de las ciencias de la naturaleza."* (Atlan, 1972: 174).

consiguiente, asociado con una baja probabilidad de ocurrencia. De esta manera, si la entropía mide el grado de desorden molecular de un sistema, la *información* se referirá al grado de *orden* en ese sistema. En este sentido, si el estado al que tiende un sistema cerrado es al del máximo desorden de sus elementos, es decir, al aumento de su entropía, ese estado se corresponderá lógicamente con el de una pérdida de información respecto a la posición de las partículas en el sistema¹².

A este respecto, resulta transcendental la relación que se establece entre *información* y el concepto de *neguentropía*, siendo este último concepto equivalente a la entropía negativa. El *demonio de Maxwell* podría decirse que constituye el símbolo de ese transformador ideal de información en neguentropía. En efecto, como escribió Brillouin: "*El demonio de Maxwell se presenta como un excelente ejemplo de aplicación de la teoría de la información y muestra muy claramente el vínculo que existe entre la información y la entropía.*" (1988: 157). Como se recordará, Maxwell desarrolló esta figura ideal dotándola del talento necesario para contravenir el segundo principio de la termodinámica, mediante la capacidad de separación de las partículas rápidas de un sistema de las partículas lentas de ese mismo

¹² Sobre este particular, Atlan anota lo siguiente: "*Desde este punto de vista, el segundo Principio de la termodinámica, ley de crecimiento de la entropía, aparece entonces como una ley de disminución de la información.*

Decir que un sistema aislado tiende a evolucionar hacia el estado de mayor desorden, nos conduce entonces a decir que la información que nos llega de tal sistema no puede más que decrecer. El estado de mayor desorden corresponde a la información mínima. [* Esto no es contradictorio con el hecho de que la función H de Shannon es máxima para la equiprobabilidad, que corresponde al mayor desorden. Recordemos en efecto que se trata de la información que nosotros tendríamos si supiésemos en qué micro-estado se encuentra el sistema. Como no la tenemos, es nuestra ignorancia la que es máxima en el estado de equilibrio.] Se advertirá que hay una cierta contradicción al hablar de información que nos llega de un sistema aislado: éste no está aislado en el momento en que nos llega la información. Es precisamente lo que expresa esta ley de decrecimiento: el sistema no estando aislado intercambia energía con su entorno, precisamente la necesaria para que la información nos llegue, y este intercambio no puede hacerse más que con una degradación del nivel de energía en términos de termodinámica, o con pérdida de información en términos de teoría de la información. Se ve pues la analogía que se establece entre el segundo Principio de la termodinámica y el teorema de la vía con ruido de Shannon, según el cual, en una vía, la cantidad de información transmitida no puede más que decrecer." (1972: 182-183).*

sistema, proceso que generaría una diferencia térmica. La actuación de este conocido demonio se desarrollaría mediante la sucesiva iluminación de cada una de las partículas (neguentropía), lo que le permitiría discernir si se trata de una partícula rápida o lenta (información) y, consiguientemente, el demonio procedería abriendo o cerrando la puerta de acceso (neguentropía) al sector de las partículas rápidas.

El interés de esta explicación reside en el hecho de que para Atlan: "... *una definición de la organización como una transformación de información en neguentropía, parece particularmente apropiada en este contexto: la organización biológica sería una realización concreta de demonios de Maxwell.*" (1972: 196). Esta idea, como apunta el propio Atlan, presentada por primera vez por O. Costa de Beauregard sintetizaba, para este último, su consideración de la organización no tanto como un estado cuanto de un proceso, proceso consistente en la transformación de información en neguentropía. La información, como señalaba Costa de Beauregard, es neguentropía potencial. Información y genotipo, neguentropía y fenotipo podrían convertirse en sendas parejas conceptuales que representarían en un nuevo esquema la traslación de lo virtual y lo actual, respectivamente¹³.

Ahora bien, con carácter previo a la identificación de la organización biológica con los procesos de transformación de la información en

¹³ Esta cuestión es tratada con especial cuidado por Atlan cuando escribe que: "Es por lo que, no podemos aceptar la idea de asociar la información al psiquismo y la neguentropía a la materia: perdemos por ahí toda la riqueza y la fuerza de la teoría de la información como realidad física, susceptible precisamente de aportar alguna luz sobre el funcionamiento de las máquinas naturales que constituyen los seres vivos y pensantes.

Como hemos indicado en el párrafo precedente, nos parece que si una diferencia debe existir entre información y neguentropía, debe asentarse sobre los niveles de generalidad de los símbolos elementales o estados discernibles que son tomados en cuenta. La neguentropía concierne a estados discernibles implicados en los intercambios de energía físicamente mensurables. La información concierne a cualquier estado discernible teóricamente y que pueden devenir prácticamente, después de cualquier mecanismo experimental donde los intercambios de energía no son en general tomados en cuenta directamente. Así, la información genética codificada en los ácidos nucleicos, la especificidad de las proteínas enzimáticas, son ejemplos de transformaciones de información en neguentropía." (1972: 198).

neguentropía u orden, es fundamental conocer cómo se consigue esa información a partir, a su vez, de la neguentropía. Es decir, para esta explicación es importante conocer la secuencia neguentropía-información-neguentropía con la que se suele caracterizar al demonio de Maxwell, en nuestro caso, sobre unos supuestos biológicos. Es aquí donde nos encontramos con que la base del proceso de transformación de la neguentropía en información es explicado por Polonsky mediante la utilización de las fórmulas de Shannon y en continuidad con los trabajos realizados por Brillouin. Así es como Polonsky "... *distingue dos clases de estructuras, que denomina ordenadas y organizadas, caracterizadas por dos clases de información que él llama respectivamente información redundante y específica.*" (Atlan, 1972: 235). Correspondiéndose la información redundante con la estructura ordenada y con la *repetición*, y la información específica con la estructura organizada y con la *variedad*. Sobre esta clasificación Polonsky desarrollará el conocido como *principio de transferencia de orden* que dará cuenta de la transformación de la neguentropía en información¹⁴.

¹⁴ Atlan explica detenidamente este importante proceso de transferencia mediante la doble distinción de las nociones de orden y organización, y las de repetición y variedad, articuladas en la teoría de Polonsky. Por su importancia y transcendencia para comprender esta segunda parte de la tesis doctoral, además de algunas de las hipótesis que se desarrollarán en la tercera parte de la misma, incluimos el párrafo en el que se exponen las claves de este principio. Así, Atlan escribe lo siguiente: "*Con la ayuda de estas dos distinciones, Polonsky puede así divisar el conjunto de las estructuras posibles en cuatro grupos:*

- *Los sistemas macroscópicos ordenados pero no organizados, que son los sistemas físicos relativamente simples, de la física macroscópica clásica.*
- *Los sistemas macroscópicos organizados, que son las máquinas artificiales donde un gran número de componentes macroscópicos son puestos en relación los unos con los otros, con el objeto de constituir sistemas con cantidades de información específica (no redundante) elevadas, tales como por ejemplo redes de telecomunicación u ordenadores.*
- *Los sistemas microscópicos ordenados pero no organizados, en el que el modelo viene constituido por los cristales, donde la cantidad de información es de tipo redundante.*
- *Los sistemas microscópicos organizados, que son los sistemas biológicos, donde la información es a la vez de tipo redundante y específico.*

Uno de los intereses de esta clasificación reside en que hace enseguida posible comprender el origen de los sistemas microscópicos organizados, donde unas propiedades nuevas aparecen en relación con las de los sistemas microscópicos ordenados, como una consecuencia de la aparición de cantidades elevadas de información específica. En efecto, ésta no es más que la consecuencia de los cambios sobrevenidos en la estructura cuántica de los sistemas moleculares -es decir en el número de transiciones posibles y sus probabilidades- cuando se pasa de átomos o de pequeñas moléculas a moléculas más y más grandes. Polonsky utiliza ahí un resultado muy conocido de la bioquímica cuántica, que puede representarse esquemáticamente por un crecimiento de la deslocalización de los

Una vez visto el proceso por el que se transforma la neguentropía en información específica potencial, no debemos olvidar que: *"Lo propio de un sistema microscópico organizado, o un sistema organizado natural tal como el que realizan los organismos, es seguidamente utilizar esta información específica, que cesa entonces de ser "potencial" para devenir "funcional"."* (Atlan, 1972: 237). Ciertamente, este fenómeno no está ya incluido en el desarrollo del principio de transferencia de orden de Polonsky, si bien se traduciría en el hecho de que se emplearía fuentes de energía facilitadas por el entorno para convertir la información específica potencial interna del sistema, en información funcional para el propio sistema. No obstante, como nos recuerda Atlan, el entorno no puede proporcionar al sistema más que una energía carente de valor informacional, es más, esta energía y *"... sus efectos no pueden ser más que agresiones aleatorias (pues si no habría que suponer un origen común a la información potencial interior al sistema y a esta información eventual, venida del entorno)."* (1972: 238).

Es así como nos encontramos, finalmente, con una de las bases de la teoría de Atlan mediante la cual se da un paso más en la teorización y caracterización de la organización, en este caso biológica, a través de la

electrones a medida que se constituyen agrupamientos moleculares más y más grandes. Los electrones periféricos de los átomos son puestos en común en la molécula y por consiguiente más y más deslocalizados; hay pues una pérdida de información -un crecimiento del desorden- en el nivel de las partículas intramoleculares. Pero esta deslocalización se acompaña de una reducción considerable de intervalos entre estados cuánticos, con multiplicación del número de estos estados, por tanto de las transiciones posibles. Esto significa un aumento de la información específica potencial, puesto que un mayor número de símbolos posibles devienen disponibles. Este aumento de la información específica potencial es más que pagada por el aumento del desorden intramolecular que acompaña la deslocalización de los electrones, de tal suerte que la neguentropía del sistema ha disminuido, de conformidad con el segundo principio generalizado de Brillouin. Sin embargo una parte de esta neguentropía ha sido convertida en información específica potencial. Es esto lo que Polonsky denomina principio de transferencia de orden. Todo ocurre como si el orden electrónico, que caracteriza los átomos, fuese transferido a los sistemas poliatómicos, donde se transforma en información específica potencial. El origen de los aumentos de información específica que acompañan la aparición de estas estructuras se encuentra de este modo simplemente en la disminución de neguentropía que acompaña su formación. Este principio puede por otra parte ser generalizado a todo sistema organizado jerarquizado donde la información específica, que puede ser reconocida a un cierto nivel de generalidad y de integración, es adquirida al precio de una "deslocalización", es decir de un desorden mayor, al nivel de generalidad inferior, incluido en el precedente." (1972: 236-237).

ligazón, paradójica, de la noción de *organización* con la de *azar*. Es más, como afirma Atlan: "*Desde un punto de vista formal, parece que un hilo conductor hacia una tal teoría de la organización, extraída del estudio de los organismos vivos, puede encontrarse en la noción, paradójica en apariencia solamente, de azar organizacional.*" (1972: 229). Lo que constituye, si se nos permite decirlo así, un paso sumamente informativo dada la improbabilidad aparente de esta unión conceptual. En efecto, podríamos señalar que el paradigma del *orden a través del desorden* se encuentra aquí "... por un nuevo camino, la cuestión del mecanismo por el cual unas agresiones aleatorias que parecen a priori no ser más que factores de errores, pueden ser utilizadas por ciertas estructuras, de manera que aumentan su eficacia, y de ser en definitiva unos factores de organización." (Atlan, 1972: 238). La importancia de este mecanismo está directamente vinculada al avance operativo de algunas de las más importantes investigaciones que se realizan en la actualidad¹⁵.

Unas investigaciones en las que los conceptos de información, probabilidad, entropía, neguentropía, orden, desorden, organización y azar aparecen relacionados en el caso de los trabajos realizados por Atlan con una

¹⁵ En este sentido, pueden destacarse los trabajos de creación de significación en redes de autómatas. Sobre este particular, cuya importancia señala el propia Atlan, anotamos la introducción siguiente: "*Voy a presentar aquí dos ejemplos de utilización de redes de autómatas aleatorios, probabilistas en dos sentidos diferentes, para la simulación de fenómenos biológicos altamente integrados que ponen en juego la interacción de millones de células: el desarrollo embrionario y el aprendizaje no dirigido en las redes celulares. El objetivo de estas simulaciones es sugerir mecanismos de comportamiento global que puedan conducir a nuevos conceptos y nuevos modos de pensamiento en la tradición del tipo de interacciones que han podido existir en los comienzos de la biología molecular entre los problemas biológicos y la cibernética. Estas interacciones han conducido a unas metáforas con valor heurístico, como por ejemplo la información genética, el programa genético, la regulación de la expresión genética... Hoy, muchas de estas metáforas deben ser reemplazadas o cuando menos modificadas, pues han perdido su valor heurístico creador y son ahora utilizadas más bien como principios explicativos metafísicos. (Pienso en particular en el "programa" genético, que, suponiendo dar cuenta de todo, no ha podido ser localizado en ningún organismo, bajo la forma de un programa de ordenador escrito en un lenguaje análogo a un lenguaje de ordenador)... Quiero mostrar que la teoría de autómatas, y más precisamente el análisis de redes de autómatas probabilistas puede ayudar en esta tarea, pues permite testar múltiples maneras de mezclar procedimientos deterministas y probabilistas. Y se sabe que la mescolanza es un ingrediente indispensable para producir propiedades de auto-organización del tipo de la que se observa en el desarrollo embrionario y el aprendizaje no dirigido.*" (1986c: 65).

importante componente de teoría de la información aplicada al estudio de la organización biológica. No en vano, el papel desempeñado por la matemática en la física es el que se ha tratado de conseguir para la teoría de la información respecto a la biología¹⁶. Y es que, dicho de otro modo, y, para terminar, lo que Atlan tratará de mostrarnos es que: *"... la organización del primer sistema integrado que ha constituido un organismo vivo capaz de evolución, comportaba esta propiedad fundamental: la capacidad de utilizar fenómenos aleatorios para integrarlos al sistema y hacerlos funcionar como factores positivos, creadores de orden de estructuras, de funciones."* (1972: 230).

VI.2. INDETERMINACIÓN Y COMPLEJIDAD.

La preocupación de von Neumann a mediados de este siglo por la construcción de autómatas en los que la fiabilidad de éstos fuese mayor que la de sus propios componentes, tenía por objeto simular las propiedades de algunos de los sistemas biológicos menos conocidos, particularmente del

¹⁶ El uso de la teoría de la información en biología, además de añadir un carácter más operativo a esta ciencia, se ha extendido hacia la elaboración de un concepto de *finalidad* biológica no intencional y predictiva contribuyendo, finalmente, a otro objetivo tradicional de la ciencia clásica: la búsqueda de un lenguaje en la naturaleza que permitiese descifrar los secretos de ésta. En efecto, tal y como ha sido señalado por Atlan: *"Las ciencias de la información juegan en relación a la biología el papel de las matemáticas y del cálculo en relación a la física: le permiten ser operatoria y predictiva, y si no calculable, al menos "computable", es decir modelizable en ordenadores. Resulta de ello que el finalismo espiritualista del vitalismo es reemplazado por una finalidad cibernética y maquinaica, que tiende a acercarse a una finalidad aceptada desde siempre en física en tanto que no intencional y calculable. El carácter común a la física matemática y a la biología informática se encuentra en una intuición antigua a las transformaciones múltiples: la de una estructura lingüística de la realidad. Veremos cómo los últimos avatares de esta intuición que se encontraba en el origen de las concepciones mágicas y alquímicas del universo, son hoy desencantadas por el carácter operativo de los lenguajes formales, matemáticos e informáticos, en los que se actúa desde ahora. Una indicación, entre otras, de este desencantamiento se encuentra en la utilización de la noción de código: la connotación de arbitrariedad y de ausencia de necesidad a priori, que le acompaña cuando se trata de códigos culturales, es en efecto transportable en una cierta medida al código genético."* (1989a: 420).

cerebro. Estos trabajos fueron los que condujeron al propio von Neumann a escribir en su libro póstumo *Self-reproducing automata* que el objeto privilegiado de las ciencias del siglo XX sería la *complejidad*, tal y como la energía y la entropía lo fueron en el XIX¹⁷. Y en efecto, el concepto de complejidad ha pasado de ser un término con el que se solía caracterizar a aquello que no se comprendía bien, a constituirse en una clave, casi una etiqueta, con la que definir los nuevos problemas y enfoques desde los que la ciencia de nuestros días aborda sus temas de investigación, en ruptura respecto a los métodos y objetos característicos de la denominada ciencia clásica.

El concepto de complejidad se encuentra así unido a uno de los primeros y mayores teóricos de la computación artificial: von Neumann. No debe extrañarnos pues, que este concepto haya tenido como referente para su medición operativa la construcción de un programa de ordenador. En este sentido, señala Atlan que: "*La complejidad de un problema es medido por la dificultad de resolverlo; suponiendo que se dispone para ello de un procedimiento automático, es decir de un programa de ordenador.*" (1991c: 17). Ciertamente puede calificarse de optimista esta visión de la complejidad ya que no siempre es posible contar con un programa adecuado para la resolución del problema que se trate. Es así, que no cabe otra opción para hacer efectiva esta medida que añadir: "*Y si el programa no existe todavía, la cuestión es precisamente saber cuál es el orden de la magnitud de dificultad*

¹⁷ Como explica Atlan: "Von Neumann mismo inauguraba el proceso en lo que concierne a la complejidad: antes incluso de que ésta fuese definida de manera unívoca, le hace jugar un papel concreto en un proceso generativo, que permite tener una cierta intuición del papel posible de una cuantificación de la complejidad: la existencia de un umbral de complejidad establecería una diferencia de naturaleza entre unas clases de mecanismos, y es el reconocimiento de este umbral el que permitiría a cambio hacerse una cierta idea de lo que es la complejidad de los mecanismos. En la serie de sus trabajos precedentes sobre autómatas en los que la fiabilidad sería más grande que la de sus componentes, planteaba como principio que la superación de un umbral de complejidad para ciertos mecanismos les permitiría producir efectos más complejos que su propia estructura." (1991c: 14).

en escribirlo y ejecutarlo." (Ibídem)¹⁸.

Sin embargo, esta medida de la complejidad implica, al menos, la capacidad de plantear, con claridad y en todos sus términos, el problema que se pretenda solventar, lo que no siempre es posible. Más estrictamente aún, en general, lo que consideramos complejo está justa y completamente relacionado con lo que ignoramos y sólo parcialmente relacionado con el tiempo que emplearíamos en la resolución del problema. A propósito de esta cuestión, Atlan lanza una interesante sugerencia para distinguir la complejidad de un problema, del que entenderíamos nosotros que resulta formulable en clave espacio-temporal (espacial: pues se trataría de determinar la longitud del programa a ejecutar en una máquina de Turing; temporal: puesto que la tarea sería reducible al tiempo de cálculo de la construcción y ejecución de ese mismo programa), de otra clase de complejidad más genérica debida a nuestra ignorancia. En efecto: *"Había sugerido designar por el término complicación, correspondiente a las situaciones donde se puede admitir que todo es conocido, pero que la descripción puede ser larga; para distinguirla así de la complejidad como medida de nuestra ignorancia [...]"* (Atlan, 1991c: 20).

En este sentido, la distinción entre la eventual *complicación* o *complejidad* de un sistema resulta clara cuando puede afirmarse que, en

¹⁸ Sobre el modo de abordar la cuestión operativa de la medición de la complejidad, Atlan anota lo que sigue: *"¿Cómo medir la dificultad de un problema a resolver -sea un problema matemático, o de un objeto a fabricar, o, de manera general, de una tarea a realizar? Diferentes fórmulas han sido propuestas de las que se puede mostrar que son todas reducibles las unas a las otras, lo que permite evidentemente la generalización de la que voy a hablar. La más intuitiva quizá es el tiempo mínimo necesario para hacer ejecutar por una máquina un programa que aporte la solución; o al menos, la capacidad de memoria mínima que debe tener el ordenador que se disponga para ello. Por supuesto, estas dimensiones dependen del tipo de máquina considerada (de la velocidad de sus componentes, de su arquitectura, etc.). Pero existe un modo de normalizar todo ello considerando una especie de ordenador universal ideal, que se llama máquina de Turing, en la que se puede mostrar que es capaz de resolver cualquier problema que cualquier otro ordenador sea capaz de solventar. Así, la complejidad de un problema a resolver es medido por el tiempo necesario de cálculo empleado por una máquina de Turing para solucionar el problema. Este tiempo es equivalente [...] al número mínimo de instrucciones de un programa de máquina de Turing -es decir su longitud mínima- capaz de solucionar el problema."* (1991c: 17-18).

última instancia: "*Un sistema que podemos especificar explícitamente, y cuya estructura detallada conocemos no es realmente complejo, digamos que puede ser más o menos complicado.*" (Atlan, 1990a: 80). Esta caracterización es la que le permitirá asociar el concepto de complejidad con el de una ausencia de información respecto al sistema que se trate. Así, Atlan matiza en relación con un sistema que: "*La complejidad implica que se tenga, al mismo tiempo, una percepción global con la percepción de que no se le domina en sus detalles. Por ello se la mide por la información que no se posee y que sería necesaria para especificar el sistema en todos sus detalles.*" (Ibídem). En definitiva, puede decirse que son los sistemas artificiales, es decir, aquellos que pueden o que son de hecho contruidos por los hombres, los que simplemente alcanzan la calificación de complicados. Dicho de otro modo, la complicación residiría en que para los sistemas artificiales puede emplearse más o menos tiempo en su especificación pero su comprensión es siempre plenamente posible. Por el contrario, únicamente serían los sistemas vivos quienes lograrían propiamente ser calificados con un cierto grado de la complejidad a la que aquí venimos haciendo referencia¹⁹.

¹⁹ A este respecto, Atlan cierra su esquema conceptual sobre la distinción *complicación/complejidad* ligándolo a la *información* que se poseería sobre el sistema que se trate, mediante la siguiente explicación: "*Se ve, pues, que la complejidad debe distinguirse de la complicación. Esta sólo expresa, como máximo, un gran número de etapas o de instrucciones para describir, especificar o construir un sistema a partir de sus constituyentes. En este sentido, la complicación es un atributo de los sistemas artificiales, contruidos o, al menos, construibles por el hombre que conoce y comprende totalmente su estructura y su funcionamiento. Es medible a partir de los diseños, planos y programas que especifican en sus detalles la eventual construcción del sistema. Hoy, muy a menudo, la complicación es medida por el tiempo de cálculo de ordenador necesario para realizar un programa: cuanto más largo es ese tiempo (trabajando con el mismo ordenador) más complicado es el programa y, por tanto, el sistema que especifica.*

Se sabe que existe un ordenador universal teórico, llamado máquina de Turing, capaz de realizar (con un mínimo de hardware, pero con un máximo de instrucciones de programa) lo que cualquier ordenador real puede efectuar. Es posible, pues del modo más general, medir la complicación de un sistema por el número de etapas recorridas por una máquina de Turing y que sean necesarias para describirlo a partir de sus constituyentes con la ayuda de un programa de construcción. Ello implica, evidentemente, que tal programa pueda ser escrito, es decir, que se posea del sistema un total conocimiento operativo. En esta circunstancia se puede verificar, para establecer la coherencia de nuestras definiciones, que la función H (complejidad, información que no posee sobre el sistema) podría ser reducida a 0, mientras la redundancia, que expresa las constricciones, fuera máxima e igual a 1. En efecto, en este caso, si se desea, el sistema podría ser descrito con la ayuda de un solo elemento constitutivo, lo que como sabemos reducirla a 0 la cantidad de información. Este elemento único sería su programa de construcción. En efecto, nada nos impediría considerar este programa como un único elemento

De este modo es como nos encontramos con hasta tres clases de complejidad. Una complejidad que tiene que ver con la dificultad para especificar un sistema o una tarea, a la que hemos convenido en llamar *complicación* y que puede ser calculada mediante el uso de una *máquina de Turing*. Podemos denominar a esta complejidad, *complejidad algorítmica* ya que se trata en último término de un problema de longitud o de tiempo en la especificación del programa que daría cuenta del sistema a comprender o de la tarea a ejecutar. Una segunda noción de complejidad, que puede igualmente ser calculada recurriendo a la teoría de la información y que está relacionada con una *falta de información* acerca del sistema que deseamos conocer. *Complejidad* a la que se le denomina como *probabilista* entre otras razones por el tipo de cálculo que se emplea para ser cuantificada.

Finalmente, existe una complejidad no cuantificable, más intuitiva, si se quiere expresar así, que vendría dada por nuestra dificultad para comprender un sistema o un problema. Esta última clase de complejidad recorrería las anteriores definiciones y sólo en la medida en que se deja de lado es posible cuantificar las dos clases de complejidad a las que nos hemos referido, esto es, la *complejidad algorítmica* y la *complejidad probabilística*. Pues bien, para Atlan, esta última clase de *complejidad* estaría claramente relacionada con la *significación* de aquello que se trata de comprender. En sus propias palabras: "*Tanto la teoría de la información probabilística como la teoría de los algoritmos de programación alcanzan sus objetivos de cuantificación sin tener que ocuparse de la cuestión de saber cómo comprendemos ni cómo las significaciones son creadas.*" (Atlan, 1991c: 24). Ciertamente la significación, el efecto que la información tiene sobre el

constitutivo puesto que lo conocemos perfectamente, en sus detalles, y somos capaces de construirlo. Este conocimiento, pues, se supone previo a la descripción, como cualquier otro conocimiento previo de las estructuras moleculares que permite describir un sistema material a partir de sus moléculas constitutivas. Alcanzamos así la diferencia de puntos de vista según se utilice la teoría de la información para la construcción de sistemas artificiales o para la comprensión y manipulación de sistemas naturales siempre imperfectamente conocidos." (1990a: 80-81).

sistema, existe tanto en la complejidad algorítmica como en la complejidad probabilística si bien, como decimos, en ninguno de los dos procedimientos de cálculo de la complejidad mencionados se tiene en consideración²⁰.

Es así que el problema de la *significación* en su relación con el concepto de complejidad se constituirá en este esquema en la base sobre la que Atlan estudia la *complejidad de los sistemas naturales*, dado que son estos últimos sistemas aquellos que no pueden ser contruidos por el hombre y, por consiguiente, los que auténticamente manifiestan una naturaleza compleja. La imposibilidad de construir un sistema natural o un ser vivo, si se quiere, se corresponde así con la imposibilidad de especificar con absoluta certeza no sólo la estructura de dichos sistemas, sino las funciones que en ellos mismos se producen. De tal modo que puede afirmarse que la *indeterminación* estructural y funcional de los sistemas naturales se encuentra en este sentido estrechamente ligada a la *complejidad*. Ahora bien, tanto la indeterminación como la complejidad han sido ya presentadas como nociones clave en la primera parte de esta tesis doctoral y su vinculación con los sistemas inestables ha sido ya desarrollada. La nueva articulación entre *complejidad*, *indeterminación* y *significación*, es lo que vamos a tratar de exponer a continuación a propósito de los trabajos de Henri Atlan.

²⁰ En este sentido, Atlan explica respecto a la significación presente y no tenida en cuenta en los procedimientos de cálculo de la complejidad que "... las teorías matemáticas que tratan de estas cuestiones no tienen necesidad, para ser operativas, de dar cuenta explícitamente de ella. En la teoría de la información, el hecho de que mensajes y estructuras tienen una significación es evidente, pero queda implícita, pues no se trata en ella más que de problemas de código y de eficacia de transmisión sin que sea necesario considerar la significación efectiva de mensajes a codificar y transmitir. Y es el mismo formalismo que es utilizado para medir la complejidad probabilista de una estructura, suponiendo que existe una vía de comunicación entre la estructura observada y la operación de observación. [...]. Igualmente, es evidente que un programa de ordenador escrito para resolver un problema o acometer una tarea tiene una significación -precisamente, resolver ese problema o cumplir esa tarea. Sin embargo, la teoría de la complejidad algorítmica está fundada sobre unas consideraciones lógicas de longitud del cálculo y de decidibilidad que no tienen que tomar en cuenta explícitamente esa significación: la definición de la finalidad del programa, es decir del problema particular a solventar o de la tarea a realizar, no es necesario para hacer funcionar la teoría. Esta finalidad es siempre evidente, y no es necesario interrogarse sobre su origen cuando se analiza las propiedades lógicas y operacionales del programa." (1991c: 24-25).

Para ayudarnos en esta labor vamos a considerar un hecho tan obvio como el de que si se ha llegado a establecer procedimientos para el cálculo de la complejidad de un sistema o tarea, paralelamente hay que señalar que también se han generado medidas para estimar la *simplicidad* de esos mismos sistemas o tareas. En este sentido, la *redundancia* puede decirse así que constituye el concepto y medida inverso de la *complejidad*²¹. De tal modo, que como Atlan indica: "*De hecho, redundancia y complejidad no son más que dos casos particulares de dos clases de conceptos de los que tenemos necesidad cuando queremos definir de manera intuitiva lo que es la organización, [...].*" (1988: 175)²². De manera que, para Atlan, la

²¹ Sobre la *redundancia* cabe decir lo siguiente: "*Es la teoría de la información quien ha popularizado la noción de redundancia. Todo el mundo sabe que en una comunicación cualquiera (por ejemplo telefónica) cuando se teme que la comunicación no sea perfecta, se repiten ciertas palabras importantes para mejorarla.[...].*"

La redundancia de la teoría de la comunicación no es más que una forma elemental y vasta de un fenómeno mucho más general y variado de redundancia. En el sentido más general, la redundancia se caracteriza por la presencia de elementos análogos en múltiples partes de un conjunto, de una estructura o de un sistema, de tal suerte que la estructuración y el funcionamiento de una parte da una idea de la estructuración y del funcionamiento de las otras partes, así como de la totalidad. Ella ofrece así una cierta base científica al viejo mito de la analogía entre los microcosmos y los macrocosmos y a la idea de que los unos y los otros se reproducen recíprocamente. Ella es la que permite conjeturar acerca de lo desconocido a partir de lo conocido, reconstituir el todo a partir de una fracción o la fracción a partir del todo y contribuir a dar sentido a las estructuras o sistemas redundantes: lo que es conocido otorga sentido en relación a lo que es desconocido. La redundancia es repetición para un observador omnisciente y omnipresente, es instrumento de descubrimiento y de creación para un observador y un actor parciales." (Barel, 1989: 106-107).

²² A este respecto, Atlan confecciona una lista de nociones opuestas que se corresponderían respectivamente con los conceptos de *complejidad* y *redundancia*. He aquí la nota que los recoge: "

Redundancia

*repetición
simetría
homogeneidad
degeneración
no especificidad
no diferenciación
identidad
repetición en el tiempo*

(todos estos diferentes caracteres son subyacentes a la noción de causalidad y permiten describir un sistema de manera determinista)

Complejidad

*variedad
asimetría
heterogeneidad

especificidad
diferenciación
diferencia
carácter inesperado de las cosas*

(todos estos caracteres son subyacentes a la percepción de novedad en el tiempo, conducen en el límite, a la incertidumbre al caos, al azar)" (1988: 175).

organización no sería más que una suerte de compromiso entre un exceso de ambas clases de ideas, la de una complejidad máxima y la de una redundancia máxima. En definitiva, la organización se situaría siempre "... *entre un orden demasiado repetitivo -como el de un cristal- y un caos máximo -como el de las volutas de humo.*" (Atlan, 1988: 176).

En esta perspectiva, el máximo desorden se correspondería con la máxima *complejidad* en el caso de que tuviésemos que describir y comprender esa estructuración, lo que sólo tendría sentido para Atlan sobre el supuesto de que dicho *desorden* fuese *funcional*, es decir, tuviese una significación²³. En efecto, Atlan señala que: "*Esta noción de función que da sentido a lo que observamos, y hace pasar de la noción de desorden máximo a la de complejidad máxima, hace nacer el problema de la génesis de la significación que observamos: es la función observada quien va a definir la significación de la organización.*" (Ibídem). La estrecha relación entre *complejidad* y *desorden* sólo permite discernirse, por consiguiente, sobre la consideración de la *significación* como elemento que nos permitirá diferenciar un desorden aparente que oculta en realidad un orden complejo, de un mero desorden caótico sin más. Así pues, de lo anterior se deduce que no todo desorden traduce una complejidad. En este sentido, se hace importante notar que: "*Un*

²³ Atlan indica a este respecto que: "*La relación entre complejidad y desorden aparece claramente cuando se comprende que una estructura estadísticamente homogénea que se quisiera reproducir tal cual -con estas moléculas y no otras, si pudieran distinguirse- es la más compleja que existe. Decir, como en termodinámica "que un sistema físico abandonado a sí mismo evoluciona hacia el mayor desorden, es decir hacia la mayor homogeneidad" (entropía máxima), quiere decir: "... evoluciona hacia la mayor complejidad si debiera especificarse explícitamente.*"

Dicho de otro modo, evoluciona hacia un estado donde carecemos totalmente de información. Y para que esto no sea así, debemos mantenerlo por presiones exteriores en un estado de menor desorden, lo que significa que no se le deja evolucionar solo, o más aún, que se le imponen desde el exterior ciertas condiciones que la fuente externa (que las impone) evidentemente "conoce". Estas condiciones hacen que el sistema -al que se denomina, entonces, abierto y lejos del equilibrio- pueda permanecer ordenado, es decir, transmitir una información a su entorno: esta información, en el pleno sentido de su significación, es, precisamente, el conocimiento de las presiones externas o condiciones que le mantienen lejos del desorden máximo. El sistema la "transmite" a su entorno sencillamente porque es ese entorno el que las impone al sistema. Y de esta forma el sistema no hace más que devolver esta información a su entorno (observador, manipulador) que no le deja evolucionar por sí mismo." (1990a: 82-83).

desorden sólo aparece complejo con respecto a un orden del que tenemos razones para creer que existe, y que se intenta descifrar." (Atlan, 1990a: 82). Dicho de otro modo, el desorden sólo se corresponde con la complejidad cuando ese desorden puede responder a un orden que no se conoce todavía, esto es, un orden *indeterminado*. En palabras de Atlan: "... *la complejidad es un orden cuyo código no se conoce.*" (Ibídem).

El *desorden complejo* constituye, de este modo, una expresión material de la *indeterminación* con la que los sistemas naturales se presentan ante el observador. Cómo distinguir el denominado desorden complejo del meramente caótico y sin sentido, se configura aquí como uno de los retos más importantes a desarrollar por la ciencia de nuestros días. En este desafío, la contribución de Atlan se enmarca en el estudio de la *significación*, de su creación o surgimiento y de su sentido o funcionalidad como elemento distintivo de un desorden complejo o funcional de otro que no lo es²⁴. De

²⁴ En efecto, los trabajos de investigación de Henri Atlan acerca de la auto-organización dentro del paradigma de referencia del orden a través del desorden, podrían ser enmarcados en la fronteras que unen a los conceptos de complejidad, significación y aleatoriedad. Así, Atlan nos ha expuesto cómo "... *diversos formalismos fueron utilizados para intentar modelizar mecanismos de auto-organización por los cuales sistemas no intencionales, no finalizados desde el exterior pueden organizarse ellos mismos de manera tal que la significación de la información sea ahí propiedad emergente de una dinámica. Me contentaré con citar dos series de trabajos mediante los cuales he procurado plantear el problema de la creación de significaciones en los sistemas biológicos. La primera concierne a eso que he llamado el principio de complejidad a través del ruido.*

La teoría probabilista de la información se ha extendido con el fin de establecer las condiciones necesarias para una auto-organización con crecimiento de complejidad, es decir creación de información. La cuestión de la creación de la significación está aquí tratada en negativo, tomando ventaja del hecho de que la cuantificación de la información de la que se trata aquí no toma explícitamente en cuenta su significación. La auto-organización funciona como serie de desorganizaciones recuperadas en reorganizaciones. La complejidad por el ruido, en este formalismo, es la expresión de una afirmación por doble negación: la destrucción por el ruido (primera negación) de una información donde la significación está ausente (segunda negación) puede ser equivalente, a condición de cambiar de nivel de integración y de observación, a la creación de una nueva complejidad. Ello implica la creación de significaciones sin las cuales la desorganización por el ruido no podría estar acompañada de reorganizaciones.

En una segunda aproximación, más reciente, en colaboración con Gérard Weisbuch y Françoise Fogelman, utilizamos simulaciones de redes de autómatas para intentar descubrir, de manera positiva esta vez, la emergencia de significaciones funcionales en redes de autómatas con propiedades auto-organizadoras. Es bien conocido que numerosos tipos de redes de autómatas presentan propiedades de auto-organización estructural en la que su dinámica les hace evolucionar de condiciones iniciales homogéneas hacia atractores donde estructuras espacio-temporales macroscópicas pueden ser observadas. Es todo un campo de investigaciones muy activo actualmente, donde se trata de

hecho, para Atlan, la significación de la información en los organismos vivos se traduciría siempre en una función fisiológica observable. Es este razonamiento el que nos conduce, en última instancia, a los trabajos de investigación en el problema de la creación de la significación en los sistemas naturales y artificiales a partir del ruido. Y es que, la emergencia de la *significación* debida a factores aleatorios se ha convertido así, de clave desde la que distinguir la complejidad del desorden respecto del desorden como caos; en una prueba más de los procesos de auto-organización, no sólo en los sistemas vivos sino también en los artificiales.

comprender cómo se efectúan el pasaje de lo local a lo global, la determinación de propiedades macroscópicas emergentes (de red) a partir de efectos cooperatividad entre propiedades microscópicas (de autómatas individuales). Pero, además, estas redes pueden hacer aparecer ejemplos de auto-organización funcional tales como la simulación de una máquina, construida en parte al azar, capaz de clasificar y reconocer formas sobre la base de criterios que son ellos mismos auto-generados: las formas reconocidas y los criterios de reconocimiento son observados a posteriori, pues son los productos de procesos de auto-organización y no han sido programados explícitamente. No es más que a posteriori como el mecanismo del sistema de reconocimiento puede ser (a veces) comprendido. Como en la observación y análisis de un sistema viviente natural, no programado por el hombre, el criterio de significación debe ser descifrado fuera de tiempo, a veces difícilmente; pues es el producto global, no programado explícitamente, de un gran número de interacciones locales, y las significaciones que crea así en su actividad clasificadora pueden parecer a priori extrañas al punto de vista de un ser racional dotado de una intención planificadora." (Atlan, 1991c: 26-28).

CAPÍTULO VII

DEL RUIDO COMO PRINCIPIO DE AUTO-ORGANIZACIÓN

DEL RUIDO COMO PRINCIPIO DE AUTO-ORGANIZACIÓN

Una vez establecido en las nuevas conceptualizaciones de la biología, que la organización no es una característica exclusiva de los sistemas vivos sino que también es algo propio de las máquinas artificiales, sin duda, uno de los aspectos más llamativos que diferenciaba a los autómatas naturales de los autómatas artificiales, era la capacidad que mostraban los primeros para *integrar el ruido*. Así, la distinta reacción que, ante el vasto conjunto de agresiones aleatorias que afectan a cualquier sistema, presenta una clase u otra de organización, había llamado la atención de los investigadores a la hora de trazar la nueva distinción entre lo natural y lo artificial, incluso antes de que el abordamiento de los problemas de auto-organización y auto-reproducción se convirtiese en nueva frontera para la clasificación de los sistemas.

De esta manera, la cuestión de la *fiabilidad* de los organismos naturales ante el ruido del entorno frente a la misma característica en las organizaciones artificiales, aparecía como una función de la que apenas si cabía su comparación digna entre una clase y otra de organización, habida cuenta del amplio margen que las separaba. Este hecho fue el que condujo a la reflexión según la cual: "*Los organismos, en su facultad de "integrar" el ruido, no*

podían ser concebidos sólo como máquinas algo más fiables que las máquinas artificiales conocidas, sino como sistemas en los que sólo principios de organización cualitativamente distintos podían explicar la fiabilidad." (Atlan, 1990a: 44). De este modo, la investigación de los principios que procuraban una gran fiabilidad al funcionamiento de los autómatas naturales frente a la fiabilidad que se obtenía en los artificiales, se constituyó en uno de los campos más fructíferos de investigación teórica y experimental¹.

La necesidad posterior de diseñar máquinas en las que la *fiabilidad* de funcionamiento del conjunto fuese mayor que la de los componentes de esas mismas máquinas, se tradujo, finalmente, en la identificación de ciertas condiciones necesarias y suficientes para conseguir el objetivo deseado. Por lo demás, la combinación de principios hasta entonces contrapuestos no dejó,

¹ En este sentido resulta memorable la solución de von Neumann para la construcción de autómatas fiables a partir de componentes menos fiables. Atlan nos relata el procedimiento de esta solución: "*Considérense unas redes constituidas por unos módulos del mismo tipo, por ejemplo unos módulos calculadores de la función llamada "Sheffer-stroke" [...].*"

Las señales son transmitidas de un módulo a otro por conexiones en las que no pasan más que señales binarias. Esta función es tal que todas las funciones booleanas pueden ser realizadas por unas redes de estos módulos conectadas convenientemente. [...].

Supóngase que cada módulo se avería, o funciona incorrectamente, o más generalmente produce un error, con una probabilidad p . Para simplicidad del análisis supóngase además que esta probabilidad es la misma para todos los módulos, y que ella es estadísticamente independiente del estado de la red y de la aparición de otros errores en la red -esta última hipótesis es por lo demás reconocida como bastante poco realista incluso por Von Neumann.

El objetivo es minimizar los efectos de estos errores sobre el funcionamiento del conjunto de la red. Se sigue para ello el procedimiento conocido como "multiplexación" que consiste en reemplazar una red dada, destinada a calcular una cierta función, por otra que contiene muchos más módulos y conexiones que aquellos que son necesarios para calcular la misma función. Dicho de otro modo, a partir de una red llamada precursora, se concibe una nueva red llamada redundante realizada como sigue.

- *Cada módulo del precursor es reemplazado por un grupo de n módulos del mismo tipo.*

- *Cada línea de conexión es reemplazada por un haz de n líneas. Las conexiones de un haz de líneas que llegan a un grupo de módulos se distribuyen entre ellos al azar. Pero la organización entre grupos reproduce exactamente la de una red precursora. (Si un cierto efecto del azar al nivel microscópico está permitido no existe ninguno al nivel de la organización macroscópica.) En otras palabras, cada grupo y haz efectúa lo que era la tarea de un módulo y de una línea en el precursor. Es así que los módulos y las líneas de la nueva red son redundantes. Esta redundancia permite atenuar los efectos de los errores, pues cada grupo opera sobre una señal repetida transmitida en un haz y toma una decisión de manera mayoritaria.*

- *Esta corrección de errores es efectuada por un órgano de restauración situado sobre cada haz, que funciona de la manera siguiente.[...]."* (1972: 134-135). Si se nos permite la aclaración, este procedimiento es igualmente utilizable en *inteligencia militar* para crear servicios de información fiables a través de componentes o miembros menos fiables.

evidentemente, de sorprender a los investigadores. En este sentido, como escribe Atlan: "*La mayoría de estas condiciones (redundancia de los componentes, redundancia de las funciones, complejidad de los componentes, deslocalización de las funciones) desembocan en una especie de compromiso entre determinismo e indeterminismo en la construcción del autómatas, como si cierta cantidad de indeterminación fuera necesaria a partir de cierto grado de complejidad para permitir al sistema adaptarse a cierto nivel de ruido.*" (Ibídem).

La *fiabilidad* se constituía, en todo caso, en una *característica funcional* de la organización en lo que a la resistencia de esta última ante factores aleatorios hacía referencia. Paralelamente, toda organización mostraba una *característica estructural* inicial para hacer frente, igualmente, a las agresiones aleatorias del medio: la *redundancia* de sus componentes. La relación que en cualquier *organización* se produce entre estructura y función planteaba, en correspondencia, una estrecha ligazón entre redundancia y fiabilidad si bien no cabía, en ningún caso, la absorción de una característica en la otra. En este sentido, la singularidad de sendas nociones fue claramente expuesta por Winograd y Cowan y así fue recogida por Atlan. En efecto: "... *la una no puede ser reducida a la otra, la distinción que nos vemos obligados a establecer puede ser comprendida, entre otras, por la referencia que Winograd y Cowan han introducido entre "redundancia de los módulos" y "redundancia de las funciones" en su estudio sobre la fiabilidad de los autómatas: la redundancia inicial sería una redundancia de módulos, simple repetición de elementos estructurales, mientras la fiabilidad sería una redundancia de funciones.*" (Atlan, 1990a: 55).

Con todo, hasta ahora venimos exponiendo las características que hacen a una organización resistir a las agresiones que aleatoriamente le afectan. Nada se ha apuntado pues, en relación con el hecho de que esas mismas *perturbaciones*, en conexión con las características señaladas de una

particular organización, puedan finalmente desembocar en ciertos casos en la *creación de información*. En este sentido, si la fiabilidad en tanto que capacidad de resistencia de los organismos naturales ante las agresiones del entorno se había destacado, inicialmente, en la caracterización de los sistemas vivos frente a los artificiales, es preciso añadir que: *"Un paso más en esta dirección se daba, durante las investigaciones formales sobre la lógica de los sistemas auto-organizadores, al atribuir a los organismos no sólo la propiedad de resistir el ruido de modo eficaz, sino también de utilizarlo hasta transformarlo en factor de organización."* (Atlan, 1990a: 44-45).

Para acercarnos a este proceso es importante añadir a lo anteriormente expuesto, los trabajos desarrollados por Atlan respecto a la tradicional teoría de la información de Shannon. Así, merece la pena recordar que la teoría shannoniana de la información ha sido criticada por dejar de lado algunos importantes problemas vinculados a la información. De entre todos ellos destacan tres clases de cuestiones que, reiteradamente, se mencionan como apartadas por Shannon de su teoría de la información. La primera clase de problemas, nos recuerda Atlan, serían: *"Los vinculados a la creación de la información: el segundo teorema de Shannon, del canal con ruido, enuncia explícitamente que la información transmitida por un canal no puede crearse, puesto que no puede sino ser destruida por los efectos del ruido, y que en el mejor de los casos sólo puede conservarse."* (1990a: 68)².

² En efecto, como nos indica Atlan: *"Uno de los principales teoremas de esta teoría, debida a C. E. Shannon, establece que la cantidad de información de un mensaje transmitido por una vía de comunicación perturbada por un ruido no puede más que decrecer en una cantidad igual a la ambigüedad introducida por este ruido entre la entrada y la salida de la vía. Los Códigos correctores de errores, al introducir cierta redundancia en el mensaje, pueden disminuir esta ambigüedad de modo que en último término la cantidad de información transmitida sea igual a la cantidad emitida, pero en ningún caso podrá ser superior. Si, como muchos autores han propuesto, se utiliza la cantidad de información de un sistema asimilado a un mensaje transmitido a un observador como una medida de su complejidad o, por lo menos, parcialmente, de su grado de organización, este teorema parece excluir, pues, cualquier posibilidad de un papel positivo, organizativo, del ruido. Hemos podido mostrar que no es así, precisamente a causa de los postulados implícitos con cuya ayuda la teoría de la información es aplicada al análisis de sistemas organizados, cuando su campo de aplicación, en su forma primitiva, parecía limitado a los problemas de transmisión de mensajes en vías de comunicaciones."* (1990a: 47-48).

La segunda clase de problemas que se hace difícil dejar de plantear cuando se trata de información son: *"Los vinculados a la significación de la información: la fórmula de Shannon no permite cuantificar la información media por símbolo de un mensaje sino a condición de desdeñar el sentido eventual de este mensaje."* (Ibídem). Como se recordará, este tema fue tratado en el capítulo anterior cuando atendíamos los diferentes tipos de complejidad y señalábamos que tanto la complejidad probabilística como la algorítmica dejaban de lado la significación, frente a la complejidad más genérica de los sistemas vivos, donde ésta permanecía ligada a problemas de comprensión y significación de esos mismos sistemas. La tercera clase de problemas, finalmente, es la que hace referencia a *"... los vinculados a las formas jerárquicas de organización: en la medida en que la fórmula de Shannon puede servir de medida de organización, ignora por completo los problemas de inclusión, unos en otros, de los distintos niveles de organización más o menos integrados."* (Ibídem).

Pues bien, vamos a desarrollar en este capítulo el modo en que Atlan utiliza y amplía la teoría de la información shannoniana para resolver estos problemas y encontrar las bases sobre las cuales será posible dar cuenta de la creación de información a través del ruido. Por lo demás, tendremos ocasión de recordar en el siguiente punto, el *principio de orden a través del ruido* teorizado por von Foerster que figura, como se ha visto en el capítulo introductorio, como el más inmediato antecedente del *principio de complejidad a través del ruido* ideado por Atlan. Así, como ha señalado el propio Atlan: *"H. Von Foerster fue el primero, que sepamos, en expresar la necesidad de un "principio del orden a partir del ruido" para dar cuenta de las propiedades más singulares de los organismos vivos en tanto que sistemas auto-organizadores, especialmente en su adaptabilidad."* (1990a: 45).

Ciertamente, ambos principios, el del orden a través del ruido de von Foerster y el de la complejidad a través del ruido de Atlan, se asientan en el

campo tradicional de la oposición aparente entre *lo organizado* y *lo aleatorio*. Pero también se inscriben en el novedoso campo del descubrimiento de la cooperación entre lo organizado y lo aleatorio que, finalmente, sendos principios desarrollan en su funcionamiento; así como en el ámbito de las teorías que pretenden explicar la creación y surgimiento de *lo nuevo*³. La importancia de estos principios ha hecho que los conceptos sobre los que se basan hayan quedado en un segundo plano frente a la masiva divulgación de la que han sido protagonistas dichos principios. Como afirma Atlan: "*Hoy estas ideas se han extendido mucho, hasta el punto de que a veces se presentan como evidencias primarias, como por ejemplo que la creación de la información no puede realizarse más que a partir del ruido, lo que es una lástima, pues se olvida lo que constituye su mayor interés, es decir, cómo y en qué condiciones puede resolverse la paradoja.*" (1990a: 67-68).

En este sentido, Atlan estima que para que un sistema desarrolle propiedades auto-organizadoras precisa tener un mínimo de redundancia inicial ya que este científico considera que "*... estas propiedades consisten en un aumento de complejidad por destrucción de redundancia.*" (1990a: 55-56). De tal modo que la destrucción de redundancia en un sistema, como consecuencia de la acción de perturbaciones exteriores aleatorias, aumenta la variedad de éste y correlativamente, y siempre que el sistema sea capaz de mantener su organización, su complejidad significativa. Sin embargo, si la destrucción de la redundancia en el sistema como consecuencia de las

³ En este sentido, merece la pena ser destacado el papel que están jugando las teorías de la auto-organización, basadas sobre los principios de orden a través del desorden y más concretamente, en este caso, del principio de complejidad a través del ruido, en las teorías de la educación. Así, se ha llegado a distinguir la *transmisión* de cultura, en tanto que *aprendizaje programado*, de la *creación* de cultura en tanto que *aprendizaje no dirigido*. Produciéndose este último aprendizaje de acuerdo con los principios de auto-organización más arriba descritos. Como señala Atlan: "*Este aprendizaje [el aprendizaje programado] está superpuesto, en primer lugar, en la cría del hombre -y luego va dejando poco a poco lugar- al aprendizaje no dirigido propio de los sistemas auto-organizadores. En el orden del pensamiento, el aprendizaje no dirigido actúa en la búsqueda intelectual y artística. Permite la integración, aparentemente paradójica, de lo radicalmente nuevo y contribuye así, en los adultos, a la creación de las culturas. Sigue, diferenciándose de ella, a la educación de los niños, transmisora de cultura.*" (1990a: 11).

perturbaciones se efectúa demasiado rápidamente, lo único que cabría apreciarse en el sistema por parte de un observador exterior sería una disminución de la información en el mismo, esto es, una reducción del orden que estructura ese sistema. En este último caso, puede decirse que las perturbaciones tienen un efecto en el sistema por el cual: *"Pese a una redundancia inicial suficiente, todo ocurre como si el sistema no fuera auto-organizador."* (Atlan, 1990a: 56).

A este respecto cabe señalarse que la destrucción de redundancia debida a perturbaciones aleatorias debe realizarse sobre un sistema, como decimos, con una *alta tasa de redundancia inicial* con el fin de poder observar en él propiedades auto-organizadoras⁴. Es más, para que un sistema dotado con una alta redundancia inicial presente un aumento de la variedad informacional, como efecto de un conjunto de agresiones aleatorias, debe producirse todo el proceso bajo una condición adicional más. La condición a la que nos referimos es que la *velocidad* a la que se desarrolle el proceso no sea tan elevada que no termine suponiendo más que la pérdida inmediata de la organización del sistema. De este manera, como expresa Atlan: *"Así, en principio al menos, se ve cómo una producción de información bajo el efecto de factores aleatorios nada tiene de misterioso: es sólo la consecuencia de producciones de errores en un sistema repetitivo, constituido de modo que no sea destruido casi inmediatamente por un número relativamente débil de errores."* (1990a: 59).

Es decir, el proceso de disminución de redundancia en el sistema y el

⁴ En efecto, como nos expone Atlan: *"Hemos llegado a la idea siguiente, en un sistema "en extremo altamente complicado", siguiendo los términos de Von Neumann, la propiedad de auto-organización debía consistir en que factores de ruido del entorno producen dos efectos opuestos: de una parte aumentan la cantidad de información total del sistema, por aumento de la autonomía entre las partes; de otra parte, disminuyen esta cantidad de información por acumulación de errores en la estructura de esas partes. Para que esos efectos sean posibles, es decir para que puedan coexistir sin que el sistema cese de funcionar, es preciso que éste sea "en extremo altamente complicado", es decir compuesto de un gran número de partes interconectadas de múltiples maneras."* (1972: 264-265).

correspondiente aumento de la complejidad en el mismo debe ser de tal suerte, que debe poder verificarse que el aumento de la complejidad del sistema no sea de la clase de complejidad exclusivamente asociada al de una pérdida irreversible de información. Así, como indica Atlan: "*La disminución de redundancia va a disminuir la fiabilidad del sistema; pero si ésta era suficientemente elevada, quedará bastante, al menos durante un cierto tiempo, para que el trastorno que acompaña la reorganización del sistema con aumento de su complejidad, no entrañe una parada en el funcionamiento y de hecho la desaparición del sistema como tal.*" (1972: 266). En definitiva, debe tratarse de una complejidad por pérdida de redundancia que, sin embargo, exprese algo más que el acercamiento del sistema a un estado de máximo desorden sin significación.

Ciertamente, se hace difícil para un observador exterior determinar cuándo la disminución de información redundante incrementa la *complejidad significativa*, es decir, la complejidad funcional debida a una gran variedad de componentes, y no únicamente la *complejidad entrópica*, esto es, la complejidad basada simplemente en el desorden de los elementos del sistema. Sin embargo, el principio de complejidad por el ruido sobre el que Atlan ha fijado la virtualidad de producir auto-organización por disminución de redundancia nos proporciona un criterio pragmático de distinción. En efecto, para Atlan: "... puesto que el sistema continúa existiendo y funcionando, eso quiere decir que, para él, esta complejidad sigue siendo funcional y le aporta, pues, un suplemento de información que utiliza eventualmente para una mejor adaptación a las nuevas condiciones." (1990a: 87). Por consiguiente, y con ello terminamos, en la perspectiva de Atlan, "... puede concebirse la evolución de sistemas organizados, o el fenómeno de la auto-organización, como un proceso de aumento de complejidad a la vez estructural y funcional resultante de una sucesión de desorganizaciones alcanzadas seguidas, cada vez, por un restablecimiento a un nivel de variedad mayor y de menor redundancia." (Atlan, 1990a: 53).

VII.1. EL PROCESO DE COMPLEJIZACIÓN: DISMINUCIÓN DE LA REDUNDANCIA INICIAL Y AUMENTO DE LA VARIEDAD.

Ya hemos visto cómo la *redundancia* constituye una característica estructural que proporciona a un sistema resistencia ante las agresiones aleatorias del entorno. Además, hemos tenido ocasión de plantear que es precisamente la redundancia la base sobre la cual, bajo el efecto del ruido o de las perturbaciones del entorno, en términos más genéricos, puede producirse una mayor *complejidad* en el sistema en que esto sucede. En este apartado, intentaremos exponer la línea de razonamiento que ha conducido a esta conclusión y que supone, un modo de dar cuenta de la *creación de información* en un sistema bajo los efectos de perturbaciones aleatorias del entorno. Para su exposición nos remontaremos al clásico *principio del orden a través del ruido*, ideado por von Foerster, y que inauguró toda una serie de trabajos realizados en lo que, hoy día, constituye ya un paradigma de investigación en materia de *auto-organización*.

En efecto, cuando Erwin Schrödinger, en la década de los cuarenta, escribió en su conocido ensayo *¿Qué es la vida?*, que el orden biológico se diferenciaba del físico en que el primero se conducía siguiendo el principio de *orden a través del orden*, no imaginaba que años más tarde la tendencia se invertiría y alguien llegaría a afirmar que los organismos vivos no sólo se alimentaban de orden sino que también incluían el ruido en su menú⁵. De este

⁵ En este sentido, y aunque con unos referentes distintos, Schrödinger fue el primero en articular los términos de orden y desorden como principios biológicos y físicos respectivamente. Así, escribió que entendía que pueden considerarse dos modos de producir orden: "*El orden encontrado en el desarrollo de la vida procede de una fuente diferente. Según esto, parece que existen dos "mecanismos" distintos por medio de los cuales pueden producirse acontecimientos ordenados: el "mecanismo", que produce "orden a partir del desorden" y otro nuevo, que produce "orden a partir del orden". Para una mente sin prejuicios, el segundo principio parece mucho más simple, mucho más lógico. Y sin duda lo es. Por eso los físicos están tan satisfechos de haber dado con el otro, el principio de "orden a través del desorden", que es el que sigue la Naturaleza y el único que hace posible la comprensión de las líneas maestras de los acontecimientos naturales, en primer lugar la de su irreversibilidad. Pero no podemos esperar que las "leyes de la Física", derivadas del mismo, basten para explicar el comportamiento de la materia viva, cuyos rasgos más fascinantes están visiblemente basados en el principio del "orden a*

modo fue como von Foerster se convirtió en un abanderado de la cooperación entre el desorden de lo aleatorio y el orden de lo organizado. A este respecto, puede señalarse que se trataron de las investigaciones en sistemas auto-organizadores las que condujeron a von Foerster a declarar que: *"Aunque el principio que tengo "in mente" podría a primera vista, ser confundido con el principio de "orden a través del desorden" de Schrödinger, no tiene en realidad nada en común con él. Así es que para subrayar la diferencia entre ambos llamaré al principio que voy a introducir ahora principio del "orden a través del ruido". Por tanto en mi restaurante los sistemas auto-organizadores no se alimentan solamente de orden sino que también encuentran ruido en su menú."* (Foerster, 1991: 51)⁶.

partir del orden". No podría esperarse que dos mecanismos enteramente diferentes pudieran producir el mismo tipo de ley, como tampoco se esperaría que la llave de nuestra casa abriera también la puerta del vecino." (Schrödinger, 1988: 123-124).

⁶ El ejemplo desarrollado por von Foerster para exponer cómo actuaba su llamado principio de orden a través del ruido, consistía en la agitación de una pequeña caja cuyo contenido estaba formado por pequeños imanes. Los mencionados imanes, colocados sin orden aparente, terminaban adoptando curiosas formas tras las azarosas agitaciones a las que von Foerster sometía la caja que los contenía. Aunque von Foerster explicaba tras la experiencia que los pequeños cubos que se encontraban en la caja eran imanes, lo cierto es que la sorpresa inicial de cuantos contemplaban el experimento, sin conocer este dato, era evidente. Atlan nos comentará ahora unos casos más de orden a través de factores aleatorios del entorno. Dice así: *"La organización de los imanes de Von Foerster es una organización estructural. Es aún más fácil describir sistemas donde los factores de ruido del entorno son utilizados como fuentes de organización funcional.*

Los relojes automáticos, donde los movimientos desordenados de la muñeca sirven para dar cuerda a la maquinaria, son un ejemplo. Otro caso, particularmente sugerente, es el de algunos perros articulados que generalmente se colocan en los parabrisas posteriores de los automóviles con una finalidad decorativa. Bajo el efecto de los traqueteos, su cabeza es animada con movimientos relativamente ordenados, suficientes para simular y significar los movimientos de cabeza de un verdadero animal. Aquí también, la "energía no orientada barata" es utilizada de tal modo que únicamente son seleccionados los componentes de ruido que pueden ser eficaces. El proceso es aquí más evidente, pues la organización proviene de hecho de la estructura de acogida, preexistente en el sistema que domina los estímulos del entorno, precisamente operando en ellos esta selección; mientras que en los imanes de Von Foerster, es la estructura misma la que es resultado de los estímulos aleatorios, el dominio se realiza a medida de la constitución de esta estructura. Sin embargo, estos ejemplos son importantes, pues, tal como hemos subrayado en múltiples ocasiones, la organización de los sistemas biológicos es a la vez estructural y funcional. Un modelo de sistema de auto-organización completa sería pues una síntesis de los dos tipos de ejemplos que hemos citado: se encontraría una organización funcional debida a la selección de factores de ruido por una estructura de acogida dominante; pero ella misma sería resultado de procesos creadores de orden a partir de ruido, del tipo de esos cubos imantados de Von Foerster." (Atlan, 1972: 249).

Ahora bien, si von Foerster se encargó de subrayar la diferencia de su principio de orden a través del ruido respecto al de *orden a través del desorden* de Shrödinger, Atlan por su parte destacó, en un primer momento, las coincidencias de su principio respecto al principio de *orden a través del ruido* de von Foerster. En efecto, el principio de *complejidad a través del ruido* de Atlan comparte algunas características comunes con el principio de orden a través del ruido. Así, desde sus diferentes puntos de vista tanto von Foerster, inicialmente, como Atlan, posteriormente, han concebido una *lógica de la organización* basada en las interacciones entre sistema y entorno. De tal manera que al referirse a esta lógica de la organización, Atlan subraya que, tanto en el esquema de von Foerster como en el suyo propio, dicha lógica "... debe estar fundada sobre interacciones entre el sistema y el entorno tales que: a) el primero no pueda ser concebido aislado del segundo; b) el proceso de organización y de adaptación dependa, al menos en parte, de efectos aleatorios, es decir no programados, del entorno sobre el sistema." (Atlan, 1972: 253).

Con todo, existen diferencias que justifican la distinta denominación de uno y otro principio. Gracias a la intervención de Dupuy, como se ha visto en el capítulo primero, Atlan reconsidera su postura ante ambos principios: el de von Foerster y el que él mismo concibió. De tal modo que la continuidad de su principio con el de von Foerster, que al comienzo de sus trabajos Atlan reconocía, se ve matizada por unas nuevas apreciaciones que le llevan a distinguir las bases últimas sobre las que se apoyan sendos principios. En este sentido, Atlan declara respecto a su teoría lo siguiente: "*Se trataba en efecto de un principio de organización o de complejidad por el ruido, y de una manera parcialmente errónea lo hemos inscrito en continuidad con Von Foerster y su principio del orden por el ruido: éste pretendía un aumento del orden repetitivo, de la redundancia mientras que aquí se trata del de la información, que es el opuesto y sirve para medir la complejidad.*" (1990a: 77-78). En cualquier caso, hay que reconocer que, en los años en los que Atlan desarrolló

su conocido principio de la complejidad a través del ruido, las nociones de complejidad, orden y organización no estaban del todo definidas⁷.

Ciertamente, hay que señalar que tampoco esas nociones han sido hoy día del todo determinadas y clarificadas, sin embargo, no es menos cierto también que se han dado importantes pasos en este sentido. Así, nadie duda ya de la extremada *complejidad* de los llamados autómatas naturales dado el elevado número de componentes y de los múltiples entrelazamientos y relaciones que los ligan a unos con otros. De hecho, es este elevado número de *componentes* y de *relaciones* entre ellos el que dota al sistema que lo posee, de la *redundancia inicial* suficiente para que pueda ser de aplicación en él, el conocido principio de complejidad a través del ruido. En efecto, como se sabe, es a partir de la destrucción de redundancia inicial en el sistema, bajo los efectos de perturbaciones aleatorias del entorno, como puede llegar a observarse el fenómeno de un aumento de la complejidad en el sistema mismo.

Por lo demás, también Ashby contribuyó, si bien no explícitamente, a los principios que estamos contemplando y que se refieren a los eventuales efectos beneficiosos del ruido en los sistemas complejos. Así, en el caso que nos ocupa, los trabajos de Ashby estaban encaminados a comprender cómo un sistema concreto respondía a los factores de perturbación exteriores que le podrían afectar. De tal manera que, ante un repertorio de distintas perturbaciones, un sistema dispondría igualmente de un conjunto de diferentes respuestas cuya acción colocaría al sistema en un estado determinado. Ahora bien, en estas circunstancias, cada pareja *perturbación-*

⁷ A este respecto, el propio Atlan puntualiza que: "*Al desentrañar ahora, en la medida de lo posible, estas nociones, obtendremos el beneficio anunciado con respecto al sentido y la significación. Por ello, debemos regresar a las nociones de entropía, orden, complicación y complejidad, para estar en las mejores condiciones de progresar descubriendo nuevas implicaciones de la teoría del ruido organizacional. Y como veremos, al igual que Von Foerster, parece hoy más legítimo reservar el término orden a lo que se mide por una redundancia, dado que la variedad y la complejidad son medidas por la información, [...].*" (1990a: 78).

respuesta sería diferente en cuanto a los estados posibles en que podría dejar al sistema. Así: "Entre todos los estados posibles, sólo algunos son "aceptables" desde el punto de vista de la finalidad (aparente al menos) del sistema, que puede ser su simple supervivencia o la realización de una función. La regulación consiste en elegir entre las posibles respuestas las que sitúen al sistema en un estado aceptable." (Atlan, 1990a: 45).

De esta manera es como, para Ashby, el proceso de *regulación* se convierte en una de las tareas más importantes de un sistema ante las agresiones aleatorias del medio, ya que mediante dicho proceso se seleccionan las respuestas más adecuadas al cumplimiento de la finalidad del sistema. En este sentido, la *teoría de la regulación* de Ashby responde a una preocupación por las perturbaciones que un sistema pueda sufrir y, por consiguiente, se sitúa en paralelo con el teorema de la vía con ruido de Shannon; si bien, por otro lado, desborda el estricto campo de las comunicaciones para ser de aplicación a cualquier otro ámbito de investigación⁸. A diferencia de Shannon, Ashby emplea por consiguiente otros conceptos que darán sentido, en nuestro caso, al principio de complejidad a través del ruido de Atlan. Así, como relata el mismo Atlan: *"El concepto inicialmente utilizado no es el de cantidad de información sino el de variedad, definido como el número de elementos diferentes que pueden ser reconocidos en un conjunto."* (1972: 53).

En este sentido, Ashby deduce que la *variedad* de respuestas que un sistema posee para hacer frente a las perturbaciones de su estado, deberá ser tanto mayor cuanto más elevado sea el número de las distintas perturbaciones que puedan afectar al sistema y menor la cantidad de estados aceptables para ese sistema. Como afirma Atlan: *"... es indispensable una gran variedad en*

⁸ Para una definición formal de la teoría de la regulación de Ashby en estrecha relación con el teorema de la vía con ruido de Shannon, puede verse Atlan, 1972: 52-53.

las respuestas disponibles para asegurar una regulación de un sistema destinado a mantenerlo en un número muy limitado de estados cuando se ve sometido a gran variedad de agresiones." (1990a: 46). Por consiguiente, la conocida como *ley de la variedad indispensable* de Ashby establece la relación entre la variedad de las perturbaciones que pueden afectar a un sistema, la variedad de respuestas a esas perturbaciones por parte del mismo sistema y, finalmente, la variedad de estados aceptables igualmente definidos para ese sistema⁹.

La función que cumple la *variedad* en la teoría de Ashby es la de proteger la autonomía del sistema ante las agresiones del entorno, algo que no deja de resultar sorprendente por cuanto que lo que aquí venimos señalando, en apariencia, es justamente lo contrario. Es decir, que es la

⁹ Por su interés metodológico anotaremos que la teoría de la regulación de Ashby fue utilizada por él mismo para explicar el éxito de las ciencias física y química, frente al de las otras ciencias. Para Ashby, la diferencia de éxitos en una y otra clase de ciencias era debida a la gran simplicidad de los objetos investigados por las ciencias física y química en comparación con la complejidad del resto de los objetos de las otras ciencias. Así, Atlan nos puntualiza que: *"Independientemente del interés de estos resultados para una teoría de la regulación Ashby los utiliza para intentar un análisis de las limitaciones inherentes a toda tentativa de comprensión de sistemas complejos. En efecto, él aplica esos esquemas a una reflexión metodológica sobre la investigación científica en general, constatando que ésta, en tanto que ejercicio de la inteligencia humana, puede ser analizada como un proceso de regulación, por selección de respuestas adecuadas. {D} es entonces el conjunto de las preguntas posibles, y {R} el conjunto de las respuestas posibles, {Za} el conjunto de los resultados aceptables de asociaciones de una respuesta a una cuestión. (Este esquema le es sugerido por el análisis de la estructura de tests de inteligencia.) La investigación que tiene por objetivo una comprensión de la naturaleza por una serie ininterrumpida de preguntas y respuestas, aparecía entonces como un sistema R con su doble función de vía de comunicación (entre cuestiones y resultados) y de regulador (corrector de errores limitando los resultados posibles a los aceptables). En tanto que tal, este sistema está sometido a la limitación establecida por la ley de la variedad indispensable: su eficacia de selección no puede rebasar su capacidad de transmisor. Esta limitación amenaza con hacerse sentir, y de aparecer como un límite infranqueable a las posibilidades del método, si el objeto de la investigación es un sistema que sobrepasa un cierto grado de complejidad (si el conjunto de las cuestiones {D} tiene una variedad demasiado elevada en relación al conjunto de las asociaciones pregunta-respuesta experimentadas como aceptables). Esta limitación ha podido no manifestarse hasta el presente en las ciencias física y química, lo que explicaría el éxito, a causa de dos particularidades que presentan los sistemas estudiados por esas ciencias. La primera es el extremo grado de homogeneidad de las partes que las constituyen: basta, para darse cuenta con oponer la similitud entre átomos de carbono a la semejanza entre personas. [...]. La segunda es la relativa pobreza de interacciones interiores a los sistemas considerados en física y en química, que son de hecho sistemas artificialmente aislados y simplificados, en comparación, todavía, con la riqueza de las presentadas por los sistemas naturales integrados, donde el cerebro constituye un ejemplo privilegiado."* (1972: 56-57).

redundancia y no la variedad, el dispositivo estructural que protege a un sistema de las perturbaciones. En efecto, como ya ha sido señalado en términos de teoría de la información: "... se sabe que uno de los métodos eficaces para luchar contra el ruido, es decir, para detectar y corregir eventuales errores en la transmisión de los mensajes, consiste, [...], en introducir cierta redundancia, es decir, una repetición de los símbolos en el mensaje." (Ibídem). Pues bien, sobre esta aparente contradicción, desarrolla Atlan su principio de complejidad a través del ruido, ya que si la redundancia es una medida del *orden* y la información lo es de la *variedad*, la destrucción de redundancia bajo los efectos del ruido contribuye al incremento de la variedad en el sistema. Por consiguiente, al aumentar la variedad del sistema, el ruido contribuye al aumento de la información.

Ahora bien, el *aumento de la variedad* que se da en un sistema como consecuencia de las perturbaciones tiene, además de la importancia de crear más cantidad de información, la ventaja añadida de que esa variedad enriquece al sistema ante las eventuales nuevas agresiones del entorno¹⁰. Es decir, volvería a ser de aplicación la ley de la variedad indispensable de Ashby y esa misma variedad, creada por efecto del ruido, contribuye a un *aumento de las posibilidades de regulación* ante factores del entorno por parte del sistema. Entonces, cabría preguntarse por qué se sigue atribuyendo este papel negativo al ruido, a la perturbación, en definitiva, a los factores aleatorios. Pues bien, la razón estriba en que ciertamente existe una pérdida de resistencia estructural en el sistema que disminuye su redundancia inicial, ello no obstante, si la redundancia inicial es extremadamente elevada -como sucede en los *sistemas complejos*- puede darse una reorganización posterior, de esa variedad creada por disminución de la redundancia, de gran interés

¹⁰ Sin duda alguna, el sistema inmunitario constituye uno de los sistemas donde más claramente puede observarse cómo el aumento de la variedad del sistema como consecuencia de agresiones aleatorias del entorno, termina aumentando, igualmente, la capacidad para resistir a nuevas perturbaciones.

para el sistema de cara a su posterior regulación ante el efecto de nuevas agresiones aleatorias.

En cualquier caso, los posibles efectos beneficiosos del ruido sólo tienen lugar en los *sistemas complejos* y durante un cierto tiempo; en los sistemas simples, por el contrario, únicamente cabe atribuir al ruido un papel destructor de carácter inmediato¹¹. En efecto, en términos de teoría de la información, que son con los que básicamente trabajó Atlan en este esquema, un *sistema no complejo*, por ejemplo aquél que estuviese formado por una única vía de comunicación entre dos elementos A y B, supone que, un defecto en la *transmisión de información* entre ambos elementos, puede entrañar un mal funcionamiento del sistema y lógicamente la destrucción de este último, dado que todo el sistema depende de esa sola vía de comunicación. Por el contrario, en un *sistema complejo* con un elevado número de componentes y de relaciones entre ellos esa misma transmisión defectuosa no hace sino, en el nivel global del sistema, aumentar la *variedad* de los mensajes transmitidos. Sin que este hecho suponga un riesgo para la supervivencia del sistema complejo dado que, teniendo en cuenta la multiplicidad de elementos y de sus conexiones, el mensaje inicial será igualmente captado pese a las perturbaciones¹².

¹¹ Por consiguiente, la disminución de redundancia inicial por parte de un sistema complejo, como consecuencia de perturbaciones aleatorias, puede ser beneficiosa durante el tiempo en que la redundancia restante sea suficiente para dotar de una cierta resistencia estructural al sistema. Rebasada una particular tasa de variación, en lo que a la redundancia del sistema se refiere, la situación cambia completamente. Así, como indica Atlan: "*La primera fase, que constituye un crecimiento de complejidad debido a la disminución de redundancia, corresponde a un período de aprendizaje no dirigido, aprendizaje siendo tomado aquí en su sentido más amplio de "asimilación", siguiendo la terminología de Piaget. La segunda fase, disminución de complejidad debida a una "aleatorización" más y más grande de los elementos constitutivos del sistema, cuando la redundancia ya ha disminuido al punto de no poderla corregir, corresponde al envejecimiento y a la muerte.*" (1972: 267).

¹² En este sentido, Atlan nos explica que: "*Aunque los conceptos de complejidad y complicación no se hayan definido clara y precisamente todavía, la vaga e intuitiva idea que tenemos de ellos nos hace percibir los autómatas naturales como sistemas de una complejidad extrema al poder ser el número de sus componentes extremadamente elevado (10 mil millones de neuronas para un cerebro humano), y al poder las relaciones entre esos componentes estar extremadamente entrelazadas, pudiendo cada componente, en principio, estar conectado directa o indirectamente a todos los demás. Sólo en tales*

De este modo ocurre que el ruido, la perturbación o el error en la transmisión de un mensaje en el interior de un sistema complejo provoca, justamente, una *ambigüedad* en el mensaje que resulta propia de cualquier defecto en la comunicación. Sin embargo, también es verdad que si esa ambigüedad tiene unas consecuencias perniciosas para un sistema simple, no sucede lo mismo en un sistema complejo donde la redundancia es elevada. Y ello se debe, como decimos, a que el ruido no hace sino aumentar la variedad informativa del sistema reduciendo su redundancia, proceso éste que termina incrementando el nivel de complejidad del sistema¹³. De manera que si el

sistemas el papel positivo del ruido puede coexistir con su papel destructor, gracias a la mediación de la ambigüedad-autonomía. En efecto, si se considera un sistema limitado a una sola vía de comunicaciones entre A y B, la autonomía de B con respecto a A sólo puede significar un mal funcionamiento del sistema y su destrucción: en este caso, una cantidad de información de B en tanto que B es independiente de A no tiene ninguna significación desde el punto de vista del sistema, puesto que éste se reduce a esta vía. Para que tenga alguna significación es preciso imaginar que A y B no sólo están unidos el uno al otro por esta vía, sino cada uno a gran número de otros sub-sistemas por gran número de otras vías, de modo que incluso una independencia total de B con respecto a A no suponga la desaparición del sistema. Éste, debido a sus numerosas interconexiones, y siempre que su redundancia inicial sea lo bastante grande, será todavía capaz de funcionar y su cantidad de información total habrá aumentado." (1990a: 52).

¹³ Sobre el importante y paradójico papel que desempeña la ambigüedad según dónde se sitúe el nivel en que se estudie, o lo que es lo mismo, según cual sea el nivel de observación en que se coloque el control sobre la información transmitida, tendremos ocasión de ver sus consecuencias en el próximo capítulo. Ahora destacaremos la distinción entre dos clases de ambigüedad: la *ambigüedad destructora*, que ha resultado ser hasta Atlan la comúnmente tratada, y la *ambigüedad autonomía* cuya existencia se pone de manifiesto en este texto: "*Dicho de otro modo, los factores de agresiones aleatorias del entorno aumentan el desorden del sistema: esto se traduce en una ambigüedad creada en el mensaje de salida, que disminuye la información transmitida del sistema al observador. Pero nosotros veremos bien pronto cómo, si se considera los efectos del ruido sobre una vía de transmisión en el interior del sistema mismo, ellos estarán en el origen de una ambigüedad que aumenta al contrario la información transmitida a un observador porque aumenta la autonomía entre las partes del sistema. Tendremos pues trato con dos clases de ambigüedad que llevarán signos opuestos, y que llamaremos respectivamente "ambigüedad destructora" y "ambigüedad autonomía". En este contexto, se podría entonces poner en cuestión la realidad misma de una ambigüedad destructora: en efecto, si se puede concebir que unos factores de ruido pueden aumentar la información transmitida, cómo considerar que puedan al mismo tiempo destruir esta información cuando incluso el mensaje de entrada no está definido? La destrucción de información transmitida en una vía implica que el mensaje de salida no es conforme al 100% al mensaje de entrada. Todavía hace falta que exista siempre un mensaje de entrada "ideal" en relación al cual una modificación es "mala". Ahora bien esto es aparentemente contradictorio con la idea de que el mensaje de entrada no está definido, lo que permite por otra parte considerar un efecto beneficioso posible del ruido. La dificultad puede ser sobrepasada si se considera este mensaje ideal como simplemente la adaptación del sistema en el instante $t - dt$, la observación siendo efectuada en el tiempo t . Dicho de otra manera, en relación a lo que era en el tiempo $t - dt$, los errores acumulados durante el intervalo dt han producido una ambigüedad destructora. Vamos a ver cómo ellos han producido también una "ambigüedad autonomía", que, bajo ciertas condiciones puede compensarla e incluso*

sistema es capaz de sobrevivir a esta disminución de redundancia, entonces puede afirmarse que lo que aumenta es la cantidad total de información en el sistema. Y es como resultado de ello que: *"Este aumento puede, entonces, ser utilizado para la realización de funciones más amplias, especialmente en lo que se refiere a las posibilidades de adaptación a situaciones nuevas, gracias a una mayor variedad de respuestas posibles a estímulos diversificados y aleatorios."* (Atlan, 1990a: 52).

Así pues, se hace posible compatibilizar redundancia y variedad como características ambas, susceptibles de proporcionar fiabilidad a un sistema complejo siempre y cuando su proporción sea adecuada. En este sentido, el propio Atlan destaca que *"... en sistemas complejos el grado de organización no podrá ser reducido ni a su variedad (o a su cantidad de información), ni a su redundancia, sino que consistirá en un compromiso óptimo entre estas dos propiedades opuestas."* (1990a: 46). Por consiguiente, sólo una elevada redundancia inicial por parte del sistema dota estructuralmente al mismo para contemplar la posibilidad de que la destrucción de la redundancia, como consecuencia de efectos perturbadores del entorno, no degenera en una destrucción del sistema mismo. De tal manera que, la parcial destrucción de redundancia en el sistema no alcance el suficiente nivel degenerativo como para poner en riesgo de desaparición al sistema¹⁴. Así y sólo así, es como,

sobrecompensarla; aunque no la hace desaparecer. La imagen de los efectos positivos del ruido, o del azar organizacional, a la cual vamos a llegar, será por tanto la de una desorganización recuperada, y a veces incluso sobrecompensada; es decir que el aspecto "desorganización", es decir efecto negativo del ruido, no desaparecerá por ello. Esto se traducirá en el hecho de que el ruido supuesto actúa directamente sobre la vía de transmisión del sistema al observador, producirá siempre una ambigüedad llamada destructora, es decir que disminuirá la cantidad de información transmitida en esta vía, por consiguiente la cantidad de información del sistema. Cuando al contrario, como vamos a verlo, los mismos factores de ruido actúan sobre vías de transmisión en el interior del sistema, tendrán por efecto aumentar indirectamente la cantidad de información transmitida al observador." (Atlan, 1972: 257).

¹⁴ A este respecto, André Béjin plantea un análisis similar del proceso de complejización y de su peligrosidad, en su caso aplicado a los sistemas sociales, cuando afirma que: *"Hemos señalado uno de los riesgos inherentes a la complejificación de los sistemas sociales, a saber una pérdida de redundancia y de fiabilidad que puede inducir un empobrecimiento de las capacidades de auto-organización, es decir de la aptitud para explotar, para asimilar los azares mismos que parecen más amenazantes para la supervivencia del sistema."* (Béjin, 1974: 116).

por parte del sistema, la destrucción de redundancia debida al ruido del entorno puede -como consecuencia de la alta tasa de redundancia inicial- condicionar los eventuales efectos perniciosos del ruido hasta el punto de volverlos positivos, en la medida en que hacen *aumentar la complejidad* del sistema y consiguientemente *aumentar las posibilidades de regulación* del mismo.

VII.2. EL PROCESO DE AUTO-ORGANIZACIÓN: CREACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LA NOVEDAD.

Para Atlan, más allá de los formalismos científicos y teóricos, la auto-organización se definiría como un estado que se situaría a medio camino entre el orden repetitivo e inamovible del cristal y la complejidad y la inestabilidad que supondría las volutas del humo. "*Este estado intermedio no es rígido y permite reaccionar frente a las perturbaciones imprevistas mediante cambios que, de este modo no equivaldrían a una simple destrucción de la organización preexistente, sino a una reorganización, permitiendo así que aparezcan nuevas propiedades.*" (Atlan, 1991a: 74). Unas propiedades absolutamente novedosas de las que no puede preverse si se materializarán funcionalmente en un nuevo comportamiento del sistema o en una nueva estructura. De manera que, como vimos en el punto anterior, como consecuencia de los factores aleatorios del entorno el sistema reduce su redundancia, lo que posibilita una mayor variedad en el sistema que es eventualmente utilizada para este nuevo proceso que denominamos *auto-organización*.

Con todo, es importante destacar que estas reorganizaciones que, eventualmente, pueden producirse tras las desorganizaciones que se producen en el proceso de *complejización*, y que constituyen el proceso de *auto-*

organización, no son "... simples combinaciones de elementos interconectados o el mero resultado de una combinación." (Ibídem). Si así ocurriese no cabría aceptar, por parte de Atlan, que en el sistema pueda darse la aparición de nuevas funciones o nuevos comportamientos, ya que la aparición de la novedad está unida a la creación de nuevas significaciones de las relaciones que los componentes mantienen entre sí. Es decir, "... la cuestión de la creación de significado de la información se encuentra en el centro de los fenómenos de auto-organización." (Atlan, 1991a: 75). Para lo cual, insistimos, es preciso que se produzca una transformación en la significación de las relaciones entre las distintas partes del sistema, de tal suerte que termine suponiendo una nueva organización funcional de los componentes del sistema¹⁵.

Este proceso de transformación de la significación entre las partes del sistema que debe acompañar a todo proceso de auto-organización para que sea algo más que una reorganización de componentes sería tanto como decir, en términos informáticos, que el programa se programaría a sí mismo. Para quien trabaja en el desarrollo de *modelos auto-organizadores*, como es el caso de Atlan, susceptibles de generar mejores pautas para el estudio y comprensión de los procesos vitales que las que hasta ahora viene suponiendo la metáfora propuesta por la noción de *programa genético*: "Se trata de

¹⁵ Como nos indica Atlan, en este mismo sentido: "Esas desorganizaciones seguidas de reorganizaciones, es la que caracteriza esos sistemas en los que el comportamiento sirve así de modelo al de los seres vivos en sus propiedades de adaptación al cambio y de invención. Pero esas reorganizaciones no pueden ser vistas solamente como recombinaciones de elementos interconectados o el resultado de una combinatoria por la cual un cierto número de elementos pueden ser puestos en relación los unos con los otros. Es preciso además que a cada combinación, a cada readaptación corresponda una organización funcional diferente, es decir una significación distinta de las relaciones establecidas entre las diferentes partes. Dicho de otro modo, el elemento más importante en esos fenómenos de auto-organización, es la autocreación de sentido, la creación de significaciones nuevas de la información transmitida de una parte a otra o de un nivel de organización a otro. Sin esta creación de significaciones nuevas, nosotros no tendríamos otra cosa más que recombinaciones sin que éstas puedan producir la aparición de funciones nuevas, comportamientos nuevos; muy al contrario, parecería a priori que el funcionamiento eficaz de una máquina no corresponde más que a una sola combinación de piezas que la constituyen y que cualquier otra combinación no desembocaría más que en la avería y en el mal funcionamiento." (1986a: 167-168).

concebir modelos de significación capaces de modificarse a sí mismos y de crear significaciones imprevistas y sorprendentes incluso para quien las ha concebido." (1991a: 75). Es decir, se trataría de estar en condiciones de dar cuenta de la mayor capacidad de complejización que han mostrado los autómatas naturales frente a los artificiales. Así como, más específicamente, explicar de dónde proviene la aptitud de los primeros para integrar esos efectos del ruido del entorno, que les hacen aumentar su *complejidad significativa* mediante la *emergencia de nuevas propiedades* en la organización del sistema que es perturbado.

En definitiva, se pretende conseguir algo que la metáfora del programa genético no está preparada para resolver satisfactoriamente y que, sin embargo, los modelos desarrollados para el estudio de la auto-organización ya están produciendo no sólo teóricamente sino en el laboratorio. En este sentido, dos son las *condiciones* que Atlan cataloga como indispensables para que un modelo, tal y como los que él desarrolla, tenga alguna posibilidad de *generar algo nuevo*. Ambas condiciones no han sido, obviamente, tenidas en cuenta en las teorías que dotan de sentido a la metáfora del programa genético y que rigen además los diseños en la fabricación de los aparatos informáticos convencionales: "*... por una parte, cierta cantidad de indeterminación, de azar en la evolución del modelo, que permita que se produzca algo nuevo, no determinado por el programa; por otra parte, la toma en consideración del papel del observador y del contexto en la definición del significado de la información, gracias a la cual lo nuevo, lo inesperado, puedan adquirir un significado y no constituir tan sólo caos y perturbaciones aleatorias.*" (Atlan, 1991a: 75).

Para llegar a esta conclusión, que es a la vez un punto de partida en la investigación de modelos auto-organizadores, Atlan ha partido del estudio de

*redes de autómatas probabilistas*¹⁶. En este sentido, Atlan es heredero de la tradición continuista de la biología respecto de las ciencias físicas si bien, como ya podemos constatar, no en la línea clásica de la metáfora del *programa* como modelo preferente sobre el que construir una sólida referencia de investigación de la organización biológica y cognitiva. En efecto, frente a las teorías predominantes que sirven de base, hoy día, tanto a la investigación biológica como a la inteligencia artificial, por citar sólo dos de los ámbitos a los que nos vamos a referir en esta exposición, Atlan trabaja en una línea que está siendo retomada desde hace unos años y que tuvo su origen en las primeras teorías cibernéticas aplicadas a la comprensión, modelización e

¹⁶ Como se recordará del capítulo anterior, la utilización de la teoría de autómatas para referirnos tanto a sistemas vivos como a máquinas, tenía la ventaja de que permitía una mejor investigación y eventual traslación de las propiedades y cuestiones descubiertas o simuladas en el campo de la cibernética a la biología y a la inversa. A este respecto, interesa saber que un *autómata* no es más que un procesador elemental definido por un estado interno, con conexiones con el entorno o con otros autómatas y una función de transición que le permite calcular su propio estado interno sobre la base de las señales que el autómata recibe de sus conexiones. Una *red de autómatas* está, lógicamente, formada por un conjunto de autómatas conectados entre sí. La red de autómatas queda definida por la arquitectura de las conexiones, el número de autómatas que forman la red y, finalmente, las funciones de transición de cada uno de los autómatas. A continuación, anotamos un párrafo en el que se expone el interés de las llamadas *redes de autómatas probabilistas* tales como aquellas con las que trabaja Atlan: *"La evolución del estado interno de los autómatas constituye lo que se denomina la dinámica de la red. La propiedad fundamental de las redes de autómatas, que explica que se las haya ampliamente utilizado para modelizar sistemas complejos, se encuentra en la riqueza de su comportamiento dinámico. Incluso con reglas de transición muy simples, se puede obtener unas dinámicas muy complejas, de hecho "tan complejas como se quiera": un autómata de Conway, por ejemplo es una máquina de Turing universal.*

Esta riqueza potencial tiene como consecuencia que muy a menudo no se posea aún hoy una teoría completa que permita prever esta evolución dinámica: aquella proviene de la explosión dinámica de las configuraciones posibles y de la pobreza relativa de los instrumentos de combinatoria y de matemáticas discretas que se dispone, en comparación con la potencia de las teorías matemáticas de las dinámicas continuas.

Sin embargo, se es, en ciertos casos, capaz de determinar las propiedades genéricas de las redes de autómatas, lo que permite prever su comportamiento cualitativo.

Se ha utilizado así redes de autómatas probabilistas para mostrar que era posible formalizar el problema de la epigénesis de redes celulares. Se puede llegar a una estructura relativamente específica utilizando un "programa" genético extremadamente reducido en tamaño, pero donde las reglas de transición son probabilistas. El recurso al modelo de redes de autómatas permite aquí comprender cómo, a partir de una cantidad de información limitada presente en el huevo fecundado, el organismo vivo es capaz de constituirse en una estructura extremadamente compleja: es la evolución dinámica, la historia que permite este enriquecimiento." (Fogelman-Soulié, 1991b: 52-53).

investigación de los sistemas cerebrales: la *neoconexionista*¹⁷.

Así, tanto el problema de la *significación de la información* como el de la *creación de lo nuevo*, constituyen dos de los puntales sobre cuya resolución se asientan los trabajos de Atlan y que, sin embargo, no encuentran respuesta en los modelos clásicos hasta el momento desarrollados en ese terreno compartido por la biología y la inteligencia artificial. La explicación de esta falta de resolución tal vez se encuentre en las características que rigen el modelo preponderante y que se reflejan, obviamente, también en la construcción de ordenadores mediante la articulación de reglas de procesamiento de la información: *deterministas, secuenciales y localizadas*. Esta es la razón por la que Atlan, junto con otros científicos, trabaja en nuevas líneas de investigación en inteligencia artificial sobre la base de nuevos principios para el diseño de autómatas en los que las reglas de procesamiento, en tanto que *probabilísticas, en paralelo y deslocalizadas*, no sólo se acercan aún más a la estructura y funcionamiento de la organización biológica, en general, y a los procesos cognitivos, en particular, sino que proporciona la posibilidad de generar dispositivos y modelos simples de producción de auto-organización¹⁸.

¹⁷ En este sentido, como el propio Atlan se encarga de puntualizar: "*Entre otras ventajas, como todos los modelos llamados "neoconexionistas", este modelo presenta la de ofrecer una alternativa a la metáfora habitual del ordenador como referencia exclusiva en una aproximación funcionalista de la organización biológica, de la organización psíquica y del problema cerebro-pensamiento. Examinando sólo las reglas de los programas de los ordenadores conocidos hasta hoy (deterministas y secuenciales) Fodor no podía imaginar en su "lenguaje del pensamiento" sino mecanismos de codificación deterministas y localizados, que le condujeron a una visión relativamente estática de representaciones codificadas como fuentes de significados del lenguaje natural y del pensamiento. Las nuevas direcciones de la investigación en inteligencia artificial, fundamentadas en programas probabilísticos y en paralelo, y las heurísticas del comportamiento, modifican considerablemente las conclusiones que se pueden obtener de una transposición a partir de las ciencias de la información, a la vez que conservan las adquisiciones del funcionalismo en relación a las metafísicas clásicas y opuestas del problema cuerpo-espíritu. Así es como, actualmente, al igual que en nuestras redes de autómatas, los procesos dinámicos se hallan privilegiados con respecto a los estados, y los procesos deslocalizados y en parte estocásticos de creación de significaciones con respecto a las representaciones.*" (1991a: 76).

¹⁸ Sobre este particular existe un clarificador libro del profesor Varela del que extraemos, por su interés, el siguiente texto: "*Ya en los primeros años de la cibernética se propusieron otras posibilidades ante el aplastante dominio de la lógica como enfoque predominante en las ciencias cognitivas. En las*

Resulta pertinente destacar la cohesión de estos principios de procesamiento de la información con las investigaciones recientes en física de los sistemas desordenados, las cuales han permitido establecer una confluencia con las nuevas líneas de investigación en inteligencia artificial de cara a un mejor aprovechamiento de ambos campos en materia de exploración de lo *indeterminado* y de lo *aleatorio*. De tal modo que ya: *"Se empieza a poder modelizar la utilización de la analogía aproximativa indispensable en los procesos de auto-organización y de aprendizaje de lo nuevo, lo "vago" que Wittgenstein reconocía ya como indispensable rasgo característico del "orden perfecto" del lenguaje natural, la fluidez y "deslizabilidad" de los conceptos."* (Atlan, 1991a: 76-77). Todo lo cual está contribuyendo a dibujar una serie de ámbitos de investigación de los procesos complejos y auto-organizadores que no sólo manifiestan una profunda coherencia entre ellos sino que, además, reflejan una completa transdisciplinariedad en cuanto a las distintas

conferencias Macy, por ejemplo, se comentó a menudo que en los cerebros reales no hay reglas ni un procesador lógico central, y que la información no está almacenada en lugares precisos. En cambio era evidente que el cerebro operaba a partir de interconexiones masivas, de forma distribuida, de modo que las conexiones entre conjuntos de neuronas cambian como resultado de la experiencia. En síntesis, estos conjuntos presentan una capacidad autoorganizativa que no es propia de la lógica. En 1958 Frank Rosenblatt construyó el "perceptrón", un aparato simple con cierta capacidad de reconocimiento, basándose en los cambios de conectividad entre componentes semejantes a neuronas; análogamente, W.R. Ashby realizó el primer estudio de la dinámica de sistemas muy grandes con interconexiones aleatorias, mostrando que exhiben conductas globales coherentes. [...].

La historia quiso que estos otros enfoques fueran literalmente borrados del escenario intelectual en beneficio de las ideas computacionales comentadas en el capítulo 3. Sólo a fines de la década de 1970 estas ideas revivieron explosivamente, al cabo de veinticinco años de predominio de la ortodoxia cognitivista (lo que Daniel Dennett ha denominado irónicamente "computacionalismo de la Alta Iglesia"). Por cierto uno de los factores que contribuyó a este renovado interés fue el descubrimiento paralelo de las ideas autoorganizativas en física y en matemática no lineal, así como el fácil acceso a ordenadores rápidos, como veremos a continuación.

La nueva motivación para echar un segundo vistazo a la autoorganización se basaba en dos reconocidas lagunas del cognitivismo. La primera es que el procesamiento de la información simbólica se basa en reglas secuenciales, aplicadas una por vez. Este "cuello de botella von Neumann" se convierte en una seria limitación cuando la tarea requiere gran cantidad de operaciones secuenciales (tales como el análisis de imágenes o el pronóstico del tiempo). La continua búsqueda de algoritmos de procesamiento paralelo ha tenido poco éxito porque toda la ortodoxia computacional parece ir precisamente contra esa corriente.

Una segunda limitación importante es que el procesamiento simbólico está localizado: la pérdida o disfunción de cualquier parte de los símbolos o reglas del sistema deriva en un grave daño. En cambio, una operación distribuida resulta muy deseable, para que al menos haya una relativa equipotencialidad e inmunidad ante las mutilaciones." (Varela, 1990: 53-55).

perspectivas que los abordan¹⁹.

En este orden de cosas, vamos a exponer el resultado de los trabajos realizados por Atlan para simular, mediante el uso de autómatas probabilistas, procesos en los que materialmente una máquina es capaz de generar auto-organización no sólo estructural sino también funcional. Es decir, la novedad va a aparecer en estos autómatas estructuralmente, porque se crean estructuras que no han sido programadas previamente y la novedad se va a manifestar en estos autómatas funcionalmente, porque entre distintas series de señales la máquina será capaz de clasificarlas de acuerdo con un criterio no programado. En ambas *demonstraciones de auto-organización* ciertamente, como ya ha sido señalado, dos condiciones se han dado: la presencia de *factores aleatorios* en la producción de esos fenómenos de auto-organización y la presencia de un *observador exterior* capaz de reconocer a posteriori la creación de la significación que ha emergido del funcionamiento de la máquina ante perturbaciones azarasas²⁰.

¹⁹ En este sentido, puede destacarse el papel de los atractores y su empleo de cara a modelizar el funcionamiento y eventual diseño de memorias asociativas en inteligencia artificial, que permitan el reconocimiento de formas no idénticas pero similares. Así: "*A raíz de los ecosistemas de dinámica compleja se había establecido una primera descripción relativamente precisa, con el nombre de "estabilidad taponada". Ahora la reencontramos en los modelos neoconexionistas como propiedad general de la mayoría de estas redes de autómatas con atractores múltiples. El resultado relativamente nuevo de estos trabajos, que permiten utilizar las dinámicas de redes como modelos de máquinas de aprender y de memorias asociativas, es que la existencia de numerosos atractores con una gran inestabilidad que los hace pasar de uno a otro bajo el efecto de perturbaciones o de cambios de condiciones iniciales, no impide la existencia, en un nivel jerárquico más globalizador, de agrupaciones de atractores más próximos entre sí en recipientes más amplios. Por el contrario, en este nivel se observa, entonces, una gran estabilidad "taponada", diferencias de detalle entre los atractores para vincularse únicamente a una similitud aproximativa y parcial caracterizada por algunas propiedades de forma espacio-temporal macroscópica, formalizada precisamente por dicha agrupación de atractores relativamente próximos unos a otros. Cuando, en una red de este tipo, se puede definir una función "energía", de forma que a cada atractor corresponda un mínimo de esta función, los agrupamientos de atractores se caracterizan por recipientes que contienen varios mínimos locales. El paso de uno a otro en el interior de uno de estos recipientes puede servirnos de modelo del tipo de reconocimiento llamado "memoria asociativa", en la que una forma es reconocida a partir de otra que no es rigurosamente idéntica a ella.*" (Atlan, 1991a: 77).

²⁰ A este respecto, Atlan nos aclara que: "... el estudio de redes de autómatas con propiedades autoorganizadoras no sólo estructurales, sino funcionales, permite abordar la cuestión de los posibles mecanismos mediante los cuales unos mensajes (o estímulos) pueden adquirir, para una máquina,

En fin, en el siguiente ejemplo desarrollado por el propio Atlan, vamos a tener ocasión de ver qué clase de función clasificatoria es capaz de realizar una máquina del tipo de la realizada por este científico, no habiendo sido programada para ello. Así, de las cuatro secuencias binarias más abajo denominadas como: *A*, *B*, *C* y *D*; el autómata discrimina la secuencia *C* como no perteneciente a la misma clase que las tres restantes:

```

A    0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 0 0 1
B    1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0
C    0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1
D    1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 0

```

En efecto, analizando las series se hace muy difícil encontrar la estructura que ha servido de criterio de clasificación para el autómata. Con todo, como Atlan señala: "... máquinas basadas sobre unos cálculos de autocorrelación podrían conseguirlo, pero con actuaciones completamente diferentes a las de la máquina de la que se trata aquí. La estructura que proporciona el criterio de distinción es la siguiente:

```
* 0 0 * 0 * 0 * * 0 0 * 0 * 0 * * 0 0 * 0 * 0 * * 0 0 * 0 * 0 * " {Atlan,
1988: 179-180}.
```

Es decir, la máquina ha estructurado por sí misma debido a interacciones aleatorias con su entorno una secuencia-criterio (nivel estructural de la auto-organización). Concretamente, en el caso que nos ocupa se trata de una estructura periódica, de período ocho en la que la clave reside

significados no programados.

Es posible, en efecto, fabricar, en una red de autómatas, un mecanismo por medio del cual un conjunto de mensajes sin significado a priori se divida en aquellos que pueden ser reconocidos por la red (que reacciona con determinada respuesta) y en aquellos que no (ante los cuales la red no reacciona). Este comportamiento simula, de forma muy elemental, el de un sistema cognitivo para el que ciertas clases de sucesiones tienen un significado mientras que otras no. Y el criterio de demarcación lo constituye una estructura interna particular, un camino particular entre dos elementos de la red que se ha singularizado y estabilizado como estructura capaz de tener esta función, de forma parcialmente aleatoria, "autoorganizada". Efectivamente, esta estructura, que así se convierte en productora de significaciones, se ha producido a su vez en parte por azar, a través de la historia de sus encuentros precedentes con sucesos no previstos. Y, en cuanto a ella misma, no tiene más significación que la de producir esta demarcación que, precisamente, crea la significación." (1991a: 75-76).

en que los asteriscos pueden ser sustituidos de manera indistinta por valores uno o cero. Con posterioridad, el autómata es capaz de discernir (nivel funcional de la auto-organización) cuáles de entre una serie de secuencias binarias se corresponden con el patrón que él mismo ha generado. Por tanto, nos encontramos aquí con un *proceso de creación y estabilización de la novedad* en una forma muy simple de secuencia binaria. Una secuencia que constituye toda una novedad para el autómata puesto que ha sido creada por perturbaciones aleatorias del autómata con su entorno y que, posteriormente, se ha estabilizado hasta el punto de poder ser empleada como secuencia-criterio para clasificar otras secuencias. Y, como afirma Atlan: "*Permitir al azar adquirir a posteriori y en un contexto dado un significado funcional es lo que resume, finalmente, lo que puede ser un proceso auto-organizador.*" (1991a: 75).

CAPÍTULO VIII

NIVEL DE OBSERVACIÓN Y EFECTOS DEL RUIDO

NIVEL DE OBSERVACIÓN Y EFECTOS DEL RUIDO

Acabamos de ver en el capítulo precedente cómo puede representarse con ayuda de modelos físicos o informáticos fenómenos de auto-organización estructural y funcional mediante la utilización de redes de autómatas. Un proceso de auto-organización que ha consistido en la emergencia de unas estructuras y unas funciones que no han estado presentes en el nivel de los elementos que constituyan la red, sino en el nivel más global que los integraba a todos en un conjunto conexo. Como consecuencia de lo anterior, también hemos tenido ocasión de plantear el fenómeno de la *significación de la información* como aquello que se produce en el proceso auto-organizador y que resulta observable en tanto que efecto, funcional, de la información sobre el destinatario. Pues bien, ambos sucesos han constituido parte del núcleo central de las investigaciones de Atlan en el terreno de la biofísica y podrían ser abarcadas en el problema más genérico de "... *por qué mecanismos la información es transmitida de un nivel de organización a otro con emergencia de propiedades globales nuevas a un nivel de integración más elevado.*" (Atlan, 1989a: 428).

Ahora bien, esa emergencia de propiedades globales nuevas, que ya ha sido contrastada empíricamente, precisa de dos ingredientes a los que

venimos haciendo referencia en esta segunda parte de la tesis doctoral: el primero es una cierta cantidad de indeterminación, de *azar*, sin el cual la novedad no tendría lugar; el segundo de ellos es la toma en consideración del papel del observador y del contexto de cara a distinguir lo nuevo como significativo y no como mero caos. El *observador*, es importante señalarlo, no es necesaria o exclusivamente un sujeto humano. El observador, en los términos en los que aquí se investiga, se corresponde con el nivel más alto de integración en relación con un sistema organizado en distintos niveles¹. En fin, sólo con ambos ingredientes, azar y consideración del papel del observador, cabe la posibilidad de la creación de algo nuevo como efecto de lo aleatorio, del ruido en definitiva, para un determinado nivel de observación. *"Dicho de otro modo: para la célula que mira las vías de comunicación que la constituyen, el ruido es negativo. Pero para el órgano que mira la célula, el ruido en las vías del interior de la célula es positivo (en tanto que no mate a la célula) puesto que aumenta el grado de variedad y por tanto las funciones reguladoras de sus células."* (Atlan, 1977: 121).

Por consiguiente, vamos a tratar en este capítulo acerca de algunas de las consecuencias que sobre la *significación de la información* en un sistema

¹ A este respecto, conviene insistir en el hecho de que Atlan considera el *nivel de observación* como un factor fundamental para entender la creación de información a partir de factores aleatorios. Como muestra de cuanto se afirma anotamos a continuación lo siguiente: *"Cambiano de formalismo y regresando al de la teoría de Shannon, se advierte cómo los mecanismos de creación de información a partir del ruido de los que hemos hablado pueden suponer cierto progreso. Hemos visto más arriba cómo estos mecanismos implican de hecho un cambio del punto de vista: el del canal elemental (x; y) sobre el que se ejerce el ruido, y el del canal del sistema S con el observador que mide la cantidad de información del sistema. Pero de hecho, se trata de más que eso: el observador del sistema que contiene el canal en relación al que el efecto del ruido es positivo no es sólo un ser lógico que realiza las mediciones, es también un nivel de integración más elevado. En efecto, el hecho de interesarse por la salida del canal (x; y) o en el del sistema hacia el observador supone, de hecho, situar la observación en dos niveles jerárquicos distintos. Ello quiere decir que la introducción de la posición del observador no constituye sólo una etapa lógica del razonamiento: este observador, exterior al sistema, es de hecho, en un sistema jerarquizado, el nivel de organización superior (englobante) con respecto a los sistemas elementales que lo constituyen; es el órgano con respecto a la célula, el organismo con respecto al órgano, etc. Es en relación a él que los efectos del ruido sobre un canal en el interior de un sistema pueden, en ciertas condiciones, ser positivos."* (Atlan, 1990a: 73-74).

constituido por distintos niveles jerarquizados, también llamados *niveles de integración*, tiene el conocido principio de la *complejidad a través del ruido*. Tras esta problemática se encuentran, evidentemente, los trabajos de Atlan tendentes a completar la teoría de la información de Shannon en materia de sistemas con más de una vía de comunicación. En efecto, como se recordará, en la introducción del capítulo anterior mencionábamos, en palabras de Atlan, tres cuestiones que quedaban fuera del ámbito de aplicación de la teoría shannoniana. La primera de las cuestiones era la de la *creación de la información*, problema al que Atlan se ha dedicado extensamente, hasta el punto de que su principio de complejidad por el ruido ha sido justamente de los primeros en ocuparse y dar cuenta de la creación de información a partir del ruido.

La segunda de las cuestiones no incluidas en la teoría de Shannon era a propósito de la *significación de la información*, asunto sobre el que Atlan, igualmente, ha proporcionado respuesta cuando ha distinguido, en su uso del concepto de información, dos aspectos diferentes. El primero de los aspectos considerados respecto a la noción de información, en consonancia con la teoría de la información clásica, carece de significación o sentido. Se trata de la información que llega a un observador exterior desde el sistema observado y que tiene como misión medir la complejidad de este último². El segundo

² En efecto, como ha subrayado Atlan: "*Sabemos desde Brillouin que la cantidad de información de un sistema (la función H) es la medida de la información que nos falta, la incertidumbre sobre este sistema. Y es por esta razón que mide la complejidad. Pero hay ahí una paradoja aparente: ¿cómo es posible medir y, por tanto, determinar, algo que no se conoce, en este caso la información que no se posee sobre el sistema (o también el déficit de información, la incertidumbre sobre el sistema)? Es posible hacerlo si se conocen los elementos constitutivos del sistema y su distribución de probabilidades, es decir la frecuencia con que se observa cada elemento en el análisis de una clase de sistemas supuestamente homogéneos desde el punto de vista estadístico. A partir de esta información mínima (que se posee) es posible calcular la información que nos falta para ser capaces de reconstruir el sistema a partir de sus elementos, es decir, comprenderlo. Es por ello por lo que la función H de Shannon, llamada cantidad de información, o más precisamente entropía, incertidumbre e información que nos falta, mide la complejidad de este sistema para nosotros observadores. Se comprende entonces por qué esta medida depende de modo crítico del nivel de observación, o más exactamente de la elección de lo que se consideran los elementos constitutivos.*" (1990a: 78-79).

aspecto de esa misma información sería, propiamente, la significación de la información, su *sentido funcional*, aquel aspecto que únicamente se manifestaría eficaz en el interior del sistema en que se produce. Lo cual se traduce, en la terminología propia de este científico, en que: "*Esta información eficaz es portadora de sentido porque vehicula, en el interior del sistema, su significación bajo la forma de los efectos que produce en él. Es pues muy distinta de aquélla, negativa y sin significación que recibe el observador del sistema, y que mide la complejidad.*" (Atlan, 1977: 122).

En definitiva, la noción de información con la que ha trabajado Atlan presenta, como se acaba de decir, dos aspectos que la hacen, por un lado, corresponderse con el concepto y virtual carácter de medida que ella supone en la teoría de Shannon. Por otro lado, capaz de dar cuenta de los efectos de la información, esto es, de poseer una significación que, sin embargo, no aparece en la teoría shannoniana. Pues bien, el segundo de los aspectos de la noción de información, es decir, la *significación de la información*, el aspecto eficaz de esta noción, ha sido puesto de manifiesto en dos ocasiones en el capítulo precedente. Así ha ocurrido cuando se ha dicho que la información creada mediante el ruido es funcional al *aumentar las posibilidades de regulación* del sistema en que se produce (*proceso de complejización*). Pero también cuando se ha simulado y explicado que la información es funcional y permite ser observada en las redes de autómatas cuando estos muestran su *capacidad de distinción* de series de secuencias aleatorias de acuerdo con una secuencia-criterio que ha sido, enteramente, creada y estabilizada por la misma red de autómatas (*proceso de auto-organización*).

Por tanto, nos quedaba pendiente una tercera clase de problemas en relación con la teoría shannoniana de la información. Nos estamos refiriendo, concretamente, a las dificultades que aparecen cuando se trata de emplear esta teoría como medida de organización de un sistema en el que se

encuentran *distintos niveles de integración* o de inclusión. Sin embargo, frente a la incapacidad de la teoría de la información shannoniana para reflexionar sobre esta clase de sistemas, en la teoría de Atlan es justamente la existencia de varios niveles de integración en el sistema considerado, lo que permite, entre otras características, que el *principio de complejidad a través del ruido* pueda presentarse como creador de información en el conjunto del sistema³. En efecto, el ruido resulta negativo, como puede deducirse de la teoría shannoniana de la información, también para cada uno de los múltiples canales de transmisión de información que componen un sistema complejo. Ciertamente, el posible desenlace beneficioso del ruido sobre los canales internos de un sistema se produce en el nivel más global que integre, en este caso, al nivel más simple que contiene el canal afectado. Como describe Atlan: *"En un sistema jerarquizado en distintos niveles de generalidad, el principio de complejidad por el ruido expresa que un aumento de información (complejidad) es percibido en el paso de un nivel inferior (más elemental) a un*

³ En este sentido, Atlan nos recuerda que: *"Sin entrar aquí en el detalle de estos trabajos publicados en diferentes partes, la autoorganización implica necesariamente interacciones entre distintos niveles de integración, que al mismo tiempo son niveles diferentes de observación. En el marco del principio de "complejidad por el ruido", describir la autoorganización como la utilidad de las perturbaciones aleatorias para crear una complejidad funcional, equivalla a describir la creación de significaciones nuevas -y, por lo tanto, aún desconocidas- en la información transmitida de un nivel a otro. Sólo que, y precisamente porque se desconocen estas significaciones, esta descripción se hacía de refilón, de forma negativa, utilizando un formalismo en el que la significación de la información se hallaba explícitamente ausente, mientras que su existencia estaba implícita en el funcionamiento del sistema observado. En otras palabras, lo que para el observador que se halla en el exterior del sistema aparece como "azar organizacional" implica la creación de nuevos significados -todavía desconocidos para este observador- en el interior del propio sistema. Esto es lo que técnicamente se expresaba por un cambio de signo de la función ambigüedad que, de negativa, cuando expresa los efectos del ruido en un nivel, pasa a positiva en un nivel más elevado cuando expresa un aumento de diversidad y complejidad.*

De hecho, este cambio de signo no es más que un caso particular (matematizado) de una propiedad lógica más general (y quizá más inmediatamente comprensible), que caracteriza cualquier cambio de nivel de organización y que consiste en una transformación de lo que es distinción y separación en un nivel elemental, en unificación y reunión en un nivel más integrado.

En efecto, los elementos vistos individualmente en determinado nivel se distinguen unos de otros por las propiedades de exclusión, de separación y de diferencias que impiden confundirlos en una pura mescolanza. No obstante, estos mismos elementos vistos como constitutivos de un todo son reunidos forzosamente por propiedades comunes que, por lo menos desde el punto de vista de esas propiedades comunes, anulan sus diferencias. Dicho de otra forma, sólo es posible pasar de un nivel elemental a un nivel más integrado transformando las propiedades de separación en propiedades de reunión." (1991a: 67-68).

nivel más general, más global." (1990a: 90-91).

Ahora bien, hemos destacado dos aspectos que considera Atlan que se dan en el concepto de *información*. El primero, ya se ha indicado, sirve para medir el grado de complejidad en la organización de un sistema y es recogido sin problemas por la teoría de la información de Shannon. Es también la información originaria de la que Shannon manifestaba que, transmitida por un canal, no podía aumentar sino que a lo sumo podría mantenerse constante. Es decir, es la información que disminuye como consecuencia de las perturbaciones, del ruido. El segundo aspecto de la información, que es el particularmente aprovechado por Atlan, se corresponde con la *significación de la información*, siendo ésta no comprensible para el observador exterior ya que produce sus efectos, en el paso de un nivel elemental a otro más global de la organización del sistema. Se trata, en último término, del sentido de esa información para el nivel más global que en cada caso se considere y puede decirse, además, que tendrá una acepción diferente para cada nivel en cuestión. Así, como escribe Atlan: "*El sentido de la información transmitida por los canales de comunicación intra-celulares no es el mismo para la célula que para el órgano, el aparato o el organismo de los que esta célula forma parte. Pero como, en todos los casos, la medida de la información que utilizamos ignora estos sentidos, es posible y no contradictorio que lo que aparece como destrucción de información en un nivel elemental sea visto como una creación de información en un nivel global.*" (1990a: 92).

De esta manera, es el hecho mismo de la existencia de *distintos niveles de integración* en un mismo sistema, el que posibilita que las perturbaciones, que puedan afectar a unas particulares vías reduciendo la cantidad de información que por ellas circula, tengan, en otros niveles, un efecto beneficioso. La perturbación, *el ruido*, la disminución de la cantidad de información transmitida por un canal, por consiguiente, sólo puede tener un balance positivo sobre la base de la existencia de distintos niveles de inclusión

en el sistema⁴. Únicamente así es factible que el ruido incremente la información global del sistema, no sólo por el aumento de la variedad y por tanto de la información -en el conjunto del sistema, no en la vía afectada- sino por el aumento de la *complejidad significativa*, es decir, de la complejidad funcional para el sistema. Así pues: "... el principio de complejidad por el ruido, es decir, la idea de un ruido con efectos positivos, es el modo indirecto que tenemos de introducir los efectos de sentido, la significación, en una teoría cuantitativa de la organización." (Atlan, 1990a: 93).

⁴ Este carácter eventualmente beneficioso del ruido, de la perturbación, de los errores que se producen en la vía interferida, en definitiva, hace que, lógicamente, el estatuto negativo que se le asigna habitualmente al error quede, a la luz del principio de complejidad a través del ruido, seriamente puesto en entredicho. Por ello no está de más resaltar que el ruido, el error, pese a lo dicho, ha de continuar siendo aleatorio, no intencionado, en resumidas cuentas debe mantenerse como un verdadero acontecimiento para el sistema. Así, Atlan se pregunta: "*¿Pero qué son esos errores? Según lo que acabamos de ver, precisamente a causa de sus efectos positivos, no parecen ya ser por completo errores. El ruido provocado en el sistema por los factores aleatorios del entorno no sería ya un verdadero ruido a partir del momento en que fuera utilizado por el sistema como factor de organización. Eso querría decir que los factores del entorno no son aleatorios. Pero lo son. O más exactamente, depende de la reacción ulterior del sistema en relación a ellos para que, a posteriori, sean reconocidos como aleatorios o parte de una organización. En efecto, a priori, son cadenas de causalidad independientes: las causas de su producción nada tienen que ver con el encadenamiento de los fenómenos que ha constituido la historia anterior del sistema hasta entonces. Es por ello que su aparición y su reencuentro con éste constituyen un ruido, desde el punto de vista de los intercambios de información en el sistema, y sólo son susceptibles de producir errores. Pero a partir del momento en que el sistema es capaz de reaccionar a éstos, de modo que no sólo desaparezca, sino que también se modifique a sí mismo en un sentido que le sea beneficioso, o que, como mínimo, preserve su supervivencia ulterior, o dicho de otro modo, a partir del momento en que el sistema es capaz de integrar estos errores en su propia organización, entonces, éstos pierden, a posteriori, algo de su carácter de errores. Sólo lo conservan desde un punto de vista exterior al sistema, por el hecho de que (efectos del entorno sobre éste) ellos mismos no corresponden a ningún programa preestablecido contenido en el entorno y destinado a organizar o desorganizar el sistema. Por el contrario, desde un punto de vista interior, en la medida en que la organización consiste precisamente en una sucesión de desorganizaciones superadas, no aparecen como errores más que en el momento preciso de su aparición y en relación a un mantenimiento que sería tan nefasto como imaginario de un statu quo del sistema organizado, que se representa en cuanto puede darse una descripción estática. De otro modo, y a partir de este instante, son integrados, recuperados como factores de organización. Los efectos del ruido se convierten entonces en acontecimientos de la historia del sistema y de su proceso de organización. Aunque siguen siendo, sin embargo, efectos de un ruido al ser imprevisible su producción.*

Así pues, bastaría considerar la organización como un proceso ininterrumpido de desorganización-organización, y no como un estado, para que el orden y el desorden, lo organizado y lo contingente, la construcción y la destrucción, la vida y la muerte, no fueran ya tan distintos. Y, sin embargo, no es así. Los procesos donde se realiza esta unidad de los contrarios es el propio movimiento del proceso y nada más que eso lo que constituye la "síntesis" -ya que ésta no se produce como un nuevo estado, síntesis de la tesis y de la antítesis-, tales procesos sólo pueden existir en tanto que los errores son, a priori, verdaderos errores, que el orden en un momento dado es realmente perturbado por el desorden, que la destrucción, aunque no total, sea real, que la irrupción del acontecimiento sea una verdadera irrupción (una catástrofe o un milagro o ambas cosas)." (Atlan, 1990a: 60-61).

De este modo, los problemas vinculados a la *significación*, al *sentido*, que habían quedado relegados y sin posibilidad de respuesta en la teoría de la información shannoniana, encuentran un espacio en el concepto de información manejado por Atlan, del que puede decirse que rehabilita ambas nociones con su principio de la *complejidad a través del ruido*. La significación de la información para el sistema sería pues, en la teoría de Atlan, el "... *conjunto de los efectos, estructurales y funcionales, de la recepción de la información transmitida en el sistema, sobre los distintos sub-sistemas y distintos niveles de organización del mismo.*" (1990a: 92). Por tanto, la disminución de la información en uno de los canales del sistema como consecuencia del ruido, no hace sino perturbar esa comunicación particular. Ahora bien, es como resultado de esa perturbación, provocada por un acontecimiento singular, como se posibilita el que pueda crearse un nuevo sentido para el nivel más global que contiene a esa particular vía de comunicación. Un nuevo sentido que "... *mezclado con muchos otros en los demás canales, ha sido comunicado al nivel más global; de esta forma las reglas de disposición de los elementos del nivel inferior que conforman el nivel más global se han visto modificadas haciendo aparecer un nuevo sentido en este nivel, y por último esto ha repercutido en el nivel inferior.*" (Atlan, 1990a: 94).

Ciertamente, las particulares reglas que se ponen en funcionamiento en el sistema, para que el sentido creado en un nivel inferior pueda desencadenar todo un proceso de reorganización de los componentes y de las funciones que se cumplían en el sistema antes de ser perturbado, permanecen oscuras para el observador exterior. Tal y como Atlan recoge: "*Una de las cuestiones más difíciles que se encuentra por todas partes en biología a propósito de este problema capital de las organizaciones jerárquicas es el siguiente: ¿cómo se pasa de un nivel a otro, o más precisamente, cuáles son las determinaciones causales que dirigen el paso de un nivel de integración a otro?*" (1990a: 72). Es decir, el conocimiento concreto del mecanismo que daría explicación al

paso de lo local a lo global permanecería, a juicio de Atlan, inaccesible al observador exterior. De hecho, es justamente esta ignorancia de las reglas que rigen el paso de un nivel a otro la que permite, en opinión de Atlan, que el ruido pueda desencadenar -para un observador exterior- toda una nueva reorganización del sistema. Y es que, si se conociese enteramente el mecanismo de transición del nivel local al global, podría definirse qué clase de "ruido" local estaría dotado de la capacidad de reestructuración global del sistema⁵.

VIII.1. NIVEL DE OBSERVACIÓN Y CONCEPTO DE CRISIS: LA PRODUCCIÓN DE RUIDO A PARTIR DE LA INFORMACIÓN.

Habitualmente, las *crisis* son explicadas como procesos de interferencia negativa por parte de agresiones externas sobre la organización de un sistema. Sólo en contadas ocasiones esas crisis suelen ser valoradas en términos positivos y, cuando así se hace, generalmente, ello se debe a que la organización del sistema ha superado el obstáculo creado por el agente externo con una mejora, además, de la resistencia del sistema a ulteriores

⁵ En este sentido se pronuncia Atlan cuando escribe, respecto al paso de lo local a lo global, que: "... normalmente, este paso es acompañado por una reducción de la complejidad puesto que entonces se toma en cuenta una información implícita que se considera poseída sobre la construcción del nivel más global a partir del nivel elemental (por ejemplo de las moléculas a partir de los átomos). De ello se desprende que si lo que percibimos como ruido (en relación a este conocimiento previo) no destruye la organización, sino que, por el contrario, la permite desarrollarse hacia un nuevo estado más complejo, ello significa que, de hecho, el conocimiento implícito que pensábamos poseer es imperfecto. Asimismo el conocimiento que tenemos del paso de un nivel a otro comporta también un déficit de información que aparece bajo la forma de una complejidad (para nosotros) producida en el nivel global por ruido (para nosotros) en el nivel elemental. Ello quiere decir también, como antes, que este aumento de complejidad, por lo que concierne al propio sistema al tratarse de una complejidad funcional, le aporta, del nivel elemental al nivel más global, un suplemento de información. Esta información que, evidentemente, no [sic] es inaccesible (es la que no poseemos, la complejidad), sería en cierto modo la que el sistema posee sobre sí mismo, sobre sus niveles elementales y su disposición en el nivel más general. Ella es la que aumenta bajo el efecto de perturbaciones que, para nosotros, se muestran y seguirán siempre mostrándose aleatorias." (1990a: 91).

agresiones del mismo tipo que la superada. En este último caso, el *principio de complejidad a través del ruido* nos ha colocado, ciertamente, ante una tesitura en la que el ruido, la perturbación, la virtual causa de toda crisis en el esquema interpretativo más frecuentemente utilizado, puede aparecer como un factor de aumento de la complejidad y, por consiguiente, digno merecedor de un balance positivo en cuanto a la capacidad de regulación del sistema ante eventuales nuevas agresiones hace referencia.

Sin embargo, como nos indica Atlan: "... *la tentación de interpretar las crisis como efectos del ruido sobre la organización, y el eventual efecto positivo de las crisis como un caso particular de aplicación de este principio parece conducir por una pista falsa.*" (1990a: 96). En efecto, para Atlan, su principio de la complejidad a través del ruido, lejos de dar crédito a una interpretación de la crisis como proceso eventualmente beneficioso para el sistema que resulta afectado, profundiza en la valoración negativa de esta clase de situaciones. Así, Atlan se inclina a pensar que la relación que liga a su principio con el concepto de crisis no es más que el de una intervención invertida de este principio. Dicho de otro modo, el principio de complejidad por el ruido nos ha mostrado de qué modo puede aumentar la *complejidad significativa* de un sistema a causa de las perturbaciones aleatorias del entorno sobre ese mismo sistema. Pues bien, la crisis se produciría a la inversa, esto es, cuando la información de un sistema fuese la responsable de la creación de ruido en ese mismo sistema.

Para entender esta contraproductividad debemos contemplar la situación de un sistema organizado de acuerdo con los *distintos niveles de integración* que lo componen. Así, de la misma manera que se había indicado que el ruido producido en uno de los niveles elementales del sistema tenía un efecto negativo para ese nivel pero que, circunstancialmente, podía contener un resultado positivo para el nivel inmediatamente superior; ahora de lo que se trataría sería de que la información pertinente para un nivel elemental es

interpretada como ruido en el nivel de integración inmediato superior. De este modo: "*Todo ocurre entonces como si los distintos niveles de organización no se correspondiesen entre sí en el interior de un mismo sistema, y lo que es información en un nivel es percibido como ruido en otro nivel.*" (Ibídem). Es decir que, como señala Atlan, no se trata meramente de la destrucción de información por el ruido sino de la *creación de ruido* a partir de la información producida por parte del mismo sistema.

Por consiguiente, en una situación de crisis de la del tipo descrito por Atlan, cuanto más información transmite un determinado nivel, más ruido percibe el nivel siguiente. Este hecho supondrá, para un observador del sistema, la paulatina percepción de una *disminución de la complejidad significativa* de ese sistema como consecuencia de la crisis. Es decir, dado que la información transmitida en un nivel no sólo no es funcional para el siguiente sino que, además, es interpretada como ruido; lo que aumentaría para el nivel de inclusión superior es la *complejidad entrópica*, el desorden. La complejidad a la que se refiere Atlan, por tanto, la complejidad funcional basada en la numerosa, variada y eficaz organización de los elementos del sistema, ciertamente, no hará más que disminuir como resultado de la crisis. Ahora bien, no es menos cierto que, en este esquema teórico, la crisis, a la luz de lo que acabamos de exponer, puede presentarse como una etapa en la que: "*Eventualmente, esta disminución de complejidad puede ser recuperada aumentando la redundancia, lo que podría ser un modo de recuperar la crisis y de poner en marcha de nuevo el sistema a partir de un nivel de redundancia más elevado, lo que ya se ha visto que constituye un potencial de auto-organización más importante.*" (Ibídem).

En efecto, la *disminución de la complejidad significativa*, esto es, la minoración de la variedad funcional en el sistema, puede entrañar un proceso comparable de *aumento de la redundancia*. En este sentido, si un proceso de complejidad creciente conlleva no sólo el aumento de la variedad estructural

sino también de la riqueza funcional del sistema, expresable esta última por los distintos resultados que la información puede desencadenar en cada uno de los distintos niveles de un sistema complejo; paralelamente, cabe admitir la posibilidad de que esa multitud de *significaciones de la información* para el sistema vea, como consecuencia de la crisis, reducidas e incluso borradas sus diferencias de significación entre unas y otras respecto a sus correspondientes resultados en los distintos niveles que conforman el sistema. De esta manera, como señala Atlan, para un sistema: *"La crisis (recuperada o evitada) desempeñaría entonces el papel de una nueva carga de redundancia o potencial de auto-organización, después que ésta se hubiese inicialmente agotado."* (1990a: 97).

Por tanto, como se ve, volvemos a destacar la importancia de los distintos *niveles de integración* de un sistema complejo cuando al definir la crisis como la producción de ruido a través de la información, se hace preciso especificar que la información continúa siendo información en el nivel en que se produce y únicamente es ruido, para el nivel de integración global⁶. Se

⁶ A este respecto, en su artículo sobre la paradoja, Yves Barel analiza la solución de Atlan para servir de los distintos niveles de integración en un sistema con el fin de distinguir información y ruido: *"El ruido, es evidente, es lo contrario de la información porque es no-información, destrucción de información. Pero es lo contrario en tanto que se le examina al mismo nivel. Cuando se cambia de nivel y el ruido deviene sentido o significación, el ruido no es "lo contrario" de la información, pues el sentido no es lo contrario de la información: es "simplemente" otra cosa, diferente. Y sin embargo la contradicción no desaparece puesto que el nivel donde aparece continúa existiendo. El ruido y la información se contradicen y no se contradicen, están y no están en el mismo nivel. Hay superposición de universo, y por consiguiente, en potencia, existencia de paradoja. En otras palabras, la diferencia entre información y significación no me parece poder hacer olvidar que hay isomorfismo fundamental entre ruido, información y significación. Después de todo si el ruido, como la información, es portador de significación, eso quiere decir que "en algún lugar", el ruido y la información son la misma cosa, y no solamente contrarios. Creo que Atlan no consigue eliminar la paradoja más que presentándolos como dos acontecimientos acoplados, lo que no es en realidad sino un suceso único: se tiene así de una parte la disminución de la información y, de otra parte, la creación de significación por el ruido. Pero este acoplamiento, que tiene su sentido, no hace desaparecer la identidad misma de esta pareja, es decir el ruido. Incidentalmente, en el sistema S compuesto de A y B, la información, como el ruido, es portadora de sentido puesto que actúa sobre B. La aparición del ruido es por tanto a la vez creación de un sentido, y destrucción de otro. De suerte que no veo muy bien cómo se puede definir la auto-organización como un aumento "cuantitativo" de sentido (ligado a la diversificación de los efectos), sino olvidando al final del razonamiento lo que se ha planteado al comienzo, a saber que la información es portadora de sentido, y limitándole esta propiedad al ruido. En suma, lo que se oculta, es el isomorfismo del ruido y de la información, a través de la propiedad común que tienen de crear sentido."* (Barel, 1983: 209-210).

trata, por consiguiente, una vez más, de distinguir al *nivel de observación* como clave en la que convergen tanto el anterior principio de complejidad a través del ruido, como la actual consideración de la crisis en tanto que producción de ruido a través de la información. En este sentido, es el paso de un nivel a otro, el salto *de lo local a lo global* lo que aparece como incomprensible para el nivel global de un sistema en situación de crisis. Bien es cierto, y así se ha señalado, que ese paso entre uno y otro nivel de un sistema complejo permanece inaccesible al observador exterior, por lo que Atlan no deja de indicar que: "*Para el observador, todo ocurriría como si la información (complejidad) contenida en el sistema se transformara en ruido impidiendo las comunicaciones en el sistema contribuyendo de este modo a destruirlo.*" (1990a: 97-98).

En este orden de cosas, hay que señalar que si las comunicaciones entre los distintos niveles de un sistema complejo, en una situación normal, se desarrollan con distintos códigos para cada uno de esos niveles, cabe suponer -en buena lógica- la existencia de reglas de paso o de traducción de la información entre unos y otros niveles. En efecto, estas reglas serían las encargadas de dar *sentido*, en los niveles más globales, a las informaciones provenientes de los niveles más elementales. De tal modo que a estas reglas les correspondería la responsabilidad de articular las posibilidades de comunicación entre los diferentes códigos de cada uno de los niveles. Pues bien, es en el contexto de estas reglas donde podría decirse que se establecería el problema causante de la situación de crisis. Así, en términos de Atlan: "*Las causas se sitúan en el nivel de transmisión del significado de la información (siempre ignorado, al menos parcialmente por el observador), de un nivel al otro de la organización.*" (1990a: 98).

Es por esto que no debe extrañarnos que, al reflexionar Atlan acerca de los modos factibles de evitar una situación de *crisis aguda* en el sistema considerado, éste se incline por una propuesta que consiste en que cada uno

de los niveles de integración en cuestión, proyecte un sentido particular, cualquiera que éste sea, sobre los ruidos que percibe de otro nivel. En definitiva, de lo que se trata es que cada nivel dote de una significación a los ruidos que le afectan, con independencia de su adecuación y pertinencia funcional exacta. Efectivamente, esta propuesta, que no solución, es extremadamente precaria en cuanto a las garantías de éxito que pueda reportar al sistema y, sin embargo, parece ser la única al alcance de un sistema con los códigos de interpretación de la información de otros niveles deteriorados. Por lo demás, es una propuesta que únicamente consigue salvar un estado de crisis aguda mediante la consecución para el sistema de una situación de *crisis latente o prolongada*. En apoyo de esta sugerencia, por tanto, sólo se encuentra el aval de una mayor probabilidad de que la puesta en marcha de esta propuesta suponga una eventual carga de redundancia. En efecto, el *aumento de la redundancia* en el sistema abre la posibilidad futura de que éste pueda, con posterioridad, verse afortunado con un proceso de paulatina complejización mediante la reducción de la carga de redundancia obtenida durante la crisis⁷. Proceso, este último, que estaría a expensas de

⁷ En este sentido, Atlan desarrolla un ejemplo que, por tratarse de una reflexión acerca de dos tipos de sociedades, anotamos en su integridad: "Así, en un sistema social, se trataría de que el código individual no podría ser ya descodificado en el nivel de la colectividad y viceversa. Desde este punto de vista puede ser imaginado un mecanismo interesante por el que se puede evitar la llegada de una crisis que destruya el sistema sin que se trate, por eso, de una verdadera solución, es decir, sin que se restablezca la transmisión de sentido entre los códigos individual y colectivo que seguirían siendo distintos. Este mecanismo preventivo tendría, entonces, por efecto el mantenimiento de un estado de crisis latente y prolongada a costa de una modificación crónica de la organización social. Situación de la que las sociedades desarrolladas nos dan, tal vez, dos tipos de ejemplos extremos.

La crisis puede evitarse gracias a la transferencia de un sentido proveniente del código individual sobre los objetos de la realidad social, sin que por ello ese sentido corresponda al de la organización social. De hecho, dicho sentido niega la organización y la pone en peligro, en la medida en que proviene de significaciones interiores propias del deseo de los individuos. En una terminología freudiana, todo ocurre como si el principio de placer (deseo individual) fuera proyectado sobre los objetos de la realidad social, como si no se opusiera al principio de realidad que impone, entre otros, la organización de la sociedad. Tal transferencia está en el fondo de la ilusión de una llamada sociedad de consumo -en la que todos quieren convencerse de que la organización social no valora más que la satisfacción del deseo individual. Esta situación de contenido y continente, de observador y observado al mismo tiempo, permite la proyección por la que el individuo intenta dominar una organización social que ya no comprende: dicha proyección institucionaliza su propio deseo pero sólo hasta cierto punto ya que la organización social real se mantiene y resiste, aunque sólo sea debido a las oposiciones y contradicciones entre deseos individuales.

Pero la crisis puede evitarse también por un mecanismo simétrico en el que un código social se proyecte

la entrada en funcionamiento del *principio de complejidad a través del ruido*.

VIII.2. INTERPRETACIÓN Y DELIRIO: LA PRODUCCIÓN DE SENTIDO MEDIANTE LA AUTO-ORGANIZACIÓN.

Acabamos de tener la oportunidad de examinar una valoración de la crisis en tanto que situación producida en un sistema cuando, por parte de un determinado nivel de observación, la información es tratada como si fuese ruido. Para que algo así pueda ocurrir, se ha especificado que el sistema debe estar integrado por varios *niveles de inclusión*, siendo la causa de la situación crítica un deficiente funcionamiento de las reglas que se encargan del paso de la *significación de la información* de uno a otro nivel en el sistema. En este orden de cuestiones, también se ha propuesto, lógicamente, una manera de superar las *crisis agudas* que pueden acarrear para el sistema la recepción de ruido por parte de sus distintos niveles de integración. En efecto, como se ha indicado, la *proyección de una determinada significación* sobre el ruido percibido, posibilita, temporalmente, la salida del sistema de un estado agudo de crisis, si bien al precio de someterse a una situación de *crisis latente*, cuya

sobre el código individual. De hecho el sentido no siempre se transmite pues el código social no hace sino imponerse a los individuos envolviéndoles en un sistema totalitario que niega y destruye los códigos individuales. Y también esto es sólo posible hasta cierto punto por la situación de contenido-continente que permite al código social verse más o menos interiorizado en forma de ideología, de la que los individuos acaban por estar "convencidos", de grado o por fuerza.

En ambos casos, la supresión de un código por el otro permite evitar la crisis en su forma aguda y mantener el sistema en un estado de crisis prolongada. Hemos visto más arriba que ese estado implica, desde el punto de vista aquí desarrollado, una disminución de la complejidad a la que puede corresponder, eventualmente, un aumento de la redundancia. Es interesante comprobar que, en ambos casos extremos y simétricos, que hemos contemplado, sociedades llamadas de consumo y sociedades totalitarias, se observa un aumento de redundancia en forma de una tendencia a la uniformización de los individuos en lo que se llama ahora las masas. Tendencia que por lo común es atribuida a la aplastante influencia de los mass-media como medios de "comunicaciones" sociales. ¿Pero tal vez el desarrollo de estos medios, a expensas de otros modos de comunicaciones -más significados interiormente- era necesario para evitar el estallido de estas sociedades en crisis?" (1990a: 103-104).

única ventaja está en el eventual incremento de la redundancia. Este aumento de la redundancia en el sistema, a su vez, podría dar paso a una futura fase de complejización por reducción, precisamente, de la redundancia producida.

Pues bien, la *proyección de significaciones*, adecuadas o no, sobre los ruidos percibidos por unos determinados niveles de observación de un sistema, como manera de superar estados agudos de crisis, nos dará ocasión de exponer a continuación de qué forma se ha dado acomodo y desarrollo al principio de la complejidad a través del ruido a otros campos anejos de la investigación biológica. Así, tendremos oportunidad de conocer aquí, algunos de los resultados obtenidos mediante la aplicación del *principio de complejidad a través del ruido* al ámbito de la bioantropología del conocimiento. Y es que, como se verá, para Atlan, la parte de la actividad cognitiva que solemos denominar *interpretación* se desarrolla siguiendo el transcurso propio del principio de complejidad a través del ruido. Hecho éste, que hará que Atlan nos descubra a la interpretación, como un proceso con concomitancias con el *delirio* ya que, como él mismo nos indicará, "... en todos los casos, el contenido de la interpretación consiste siempre en lo que suele denominarse una "proyección de lo imaginario sobre lo real". (1990a: 156).

Pero, para empezar, conviene señalar que la exploración de este campo ha conducido a Atlan a distinguir un tipo de aprendizaje, el dirigido, respecto de otro que no lo es. Pudiéndose decir que el *aprendizaje dirigido*, como hemos tenido ocasión de presentar en otro lugar, se correspondería con aquél que se realiza de conformidad con las enseñanzas o el *programa* de un tutor, mientras que el *aprendizaje no dirigido* se relacionaría con las propiedades que caracterizarían a un sistema *auto-organizador*. En este sentido, como nos señala Atlan: "*En el aprendizaje no dirigido, un sistema colocado en un entorno nuevo para él crea en cierto modo en este entorno desconocido las pautas que enseguida le condicionarán su propio reconocimiento.*" (1990a: 153). Ciertamente, uno de los principales atractivos de esta distinción es que

ya ha sido modelizada en máquinas que han sido capaces de realizar uno y otro tipo de aprendizaje⁸.

Ahora bien, la aplicación del principio de complejidad a través del ruido en este ámbito de la bioantropología cognitiva nos muestra al aprendizaje no dirigido como un proceso que consiste en la *creación y estabilización de pautas* por disminución de redundancia. Proceso que entrañaría un aumento de la diferenciación, de la especificidad de cada pauta, por la cual la aplicación de una de las pautas al reconocimiento de una porción del entorno, excluiría el ajuste pertinente de cualesquiera de las otras pautas a la misma parte del entorno. En este orden de cosas, *"... a la pregunta: ¿qué aumenta y qué disminuye en el aprendizaje? es posible responder, según este principio, que aumenta la diferenciación, la especificidad de las pautas aprendidas, y que esto implica un aumento de la variedad de la heterogeneidad que, por el contrario, disminuye la redundancia del conjunto del sistema, el carácter no diferenciado."* (Atlan, 1990a: 153).

Por tanto, el aprendizaje no dirigido elabora pautas de reconocimiento propias para el tratamiento de entornos novedosos por parte de un sistema auto-organizador. En este sentido, se hace imprescindible notar que el sistema auto-organizador proyecta sus pautas creadas y estabilizadas sobre el entorno de tal manera que compara los *estímulos aleatorios* que recibe del entorno con las pautas elaboradas en el proceso auto-organizador de las mismas. Ciertamente, en ocasiones, las pautas proyectadas sobre determinadas partes del entorno, y esas mismas partes del entorno, pueden coincidir, en este caso

⁸ En este sentido, conviene señalar que se han desarrollado -al menos- dos tipos de máquinas, respecto de las cuales Atlan da cuenta en esta cita: *"Especialmente, existe una diferencia de principio de funcionamiento entre una máquina del tipo "Perceptrón", que sabe reconocer formas, aunque con un profesor (es preciso un experimentador que regula los parámetros de funcionamiento de la máquina durante el propio proceso de aprendizaje), y la máquina del tipo "Informón", puesta a punto por Uttley. Se trata de un Perceptrón modificado de tal modo que la propia máquina, calculando probabilidades condicionales en los distintos estímulos que le llegan, fabrica en cierto modo pautas de frecuencia según sus cálculos y, luego, reconoce más o menos tales pautas en el entorno."* (1990a: 153).

se dirá que el sistema reconoce su pauta. En este sentido: "*En la medida en que las pautas y los nuevos estímulos pueden coincidir, se dice que se "reconocen" nuevas pautas en el entorno. Pero, en la medida en que son realmente nuevas, esta coincidencia sólo puede ser aproximada.*" (Atlan, 1990a: 154). Es decir, el sistema puede advertir una correspondencia entre una determinada parte de las interacciones con su entorno y una de las pautas elaboradas por el sistema mismo.

No obstante, como se acaba de mencionar en la cita, generalmente, se produce una cierta falta de coincidencia entre las pautas proyectadas y los estímulos aleatorios del entorno, lo que da lugar a una cierta *ambigüedad* en la aplicación de las pautas al entorno. Esta ambigüedad es valorada positivamente por Atlan al entender que posibilita la corrección, mediante retroacción, de las pautas elaboradas inicialmente. Por tanto, dado que no siempre existe una adecuación perfecta entre las nuevas interacciones a las que se ve sometido el sistema auto-organizador y las pautas creadas y estabilizadas en un tiempo precedente, las pautas se ven sometidas a un proceso de modificación. Así pues: "*De este modo es posible representarse estos mecanismos de aprendizaje no dirigido por una especie de vaivén entre pautas que son creadas y proyectadas luego sobre estímulos aleatorios, y éstos que en la medida en que no pueden coincidir exactamente con las primeras modifican entonces la clase de pautas que servirán de referencia y así sucesivamente.*" (Atlan, 1990a: 154).

Por consiguiente, puede afirmarse que el aparato cognitivo funcionaría con una cierta ambigüedad en las pautas que crea en relación con el entorno. En este sentido, el *principio de complejidad a través del ruido* se desarrolla y aplica en dos aspectos concretos de la actividad cognitiva. En primer lugar, en la elaboración de pautas que hacen descubrir para el sistema determinadas regularidades en los estímulos aleatorios que el sistema recibe del entorno. Proceso éste, que aumenta la *diferenciación y especificidad de las pautas*

creadas y estabilizadas. En segundo lugar, dado que las pautas no siempre presentan una adecuación plena a los estímulos aleatorios del entorno, estos últimos son a veces identificados con una cierta cantidad de ambigüedad lo que, por otra parte, contribuye a aumentar la clase de pautas que el sistema es capaz de identificar por lo que la aleatoriedad de los estímulos contribuye a la *reorganización de las pautas* ya constituidas.

Todos estos procesos se desarrollan de modo inconsciente, a juicio de Atlan, y son similares a los que pueden modelizarse y simularse, en su funcionamiento, mediante el uso de máquinas. Sin embargo, la emergencia de estos procesos en la conciencia constituye ya un paso concreto de una singular actividad cognitiva. En palabras de Atlan: "*... su aparición en la memoria, es decir, su emergencia en la conciencia, desemboca en esta actividad de interpretación que consiste en integrar los nuevos acontecimientos del presente y del porvenir en el contenido de nuestra conciencia del pasado memorizada.*" (1990a: 154). La *interpretación* consistiría, en este sentido, en la aparición, estabilización e identificación consciente de estas pautas elaboradas en un tiempo precedente, como consecuencia de estímulos aleatorios por parte del entorno, para la comprensión de sucesos presentes y futuros.

La comprensión, en el sentido en el que aquí la empleamos, sería el proceso equivalente al de integración citado por Atlan: "*Esta integración se efectúa por la identificación de formas (pattern recognition), es decir, que los nuevos estímulos son clasificados y asociados a las formas preexistentes, gracias a lo que son reconocidos.*" (Ibídem). La similitud de este proceder con el descrito en esta tesis doctoral en el punto VII.2, en el cual se describía el funcionamiento de una red de autómatas probabilistas capaz de crear pautas como consecuencia de perturbaciones aleatorias del entorno para posteriormente reconocerlas, hace que no deba extrañar la afirmación de Atlan, según la cual: "*La interpretación sólo es así la aparición en pantalla de*

la memoria de los mecanismos de fabricación de sentido a partir del sin sentido que, sin dicha operación, se desarrollarían de modo casi automático y, evidentemente, de forma inconsciente." (1990a: 155).

He aquí, por tanto, un modo de considerar la producción de sentido como un proceso de auto-organización mediante la creación, estabilización y proyección de las pautas elaboradas como consecuencia de perturbaciones aleatorias del entorno. Un proceso que, memorizado y evocado en la consciencia, puede ser apreciado como la actividad cognitiva denominada *interpretación*. Ahora bien, Atlan da un importante paso más cuando se pregunta: "*Pero estos mecanismos de fabricación de sentido donde antes no lo había, ¿no son acaso algo por lo que se suele caracterizar las conciencias delirantes? ¿Y no es eso lo que, por otra parte, se encuentra en la significación ambigua de la idea de interpretación y en la reserva que, a priori, se tiene con respecto a la veracidad de cualquier sistema interpretativo?*" (1990a: 155). Es decir, que para Atlan, no es sólo que la *interpretación*, como el *delirio*, presenten una secuencia lógica de funcionamiento equivalente a la actividad realizada y descrita aquí como propia de los sistemas auto-organizadores; es que, además, este tipo de secuencia ha justificado, desde hace tiempo, la sospecha de arbitrariedad de toda interpretación.

Cómo distinguir, entonces, una *conciencia delirante* de otra que no lo es, cómo dar crédito a un tipo de interpretación frente a otra, constituirá pues, para este esquema teórico, uno de sus principales desafíos. Dicho de otro modo, saber qué característica confiere a una particular interpretación apariencia de veracidad, cuando sabemos que éstas siempre se producen, desde un punto de vista biológico, como *proyecciones de significaciones* sobre determinadas partes del entorno; ciertamente ahí es donde se encuentra, sin lugar a dudas, el reto para este marco explicativo. Pues bien, tradicionalmente, era el *contenido de la interpretación*, su correspondencia con la realidad, su precisión, quien determinaba la aceptación de las

interpretaciones como válidas e incluso como diferentes frente al delirio. Ahora, sin embargo, el uso de una cierta *ambigüedad* en el reconocimiento de formas se considera como una característica imprescindible para la *supervivencia del sistema auto-organizador*. En definitiva, esto ha conducido a mostrar que no es en relación al contenido de la interpretación donde cabe trazarse la distinción entre conciencia delirante y conciencia normal.

En este sentido, a juicio de Atlan, es en el *funcionamiento de la actividad interpretativa* donde debemos ubicarnos para establecer la diferencia entre interpretación "correcta" e interpretación delirante desde una perspectiva bioantropológica del conocimiento. De este modo, para Atlan: "*El delirio sería la fijación en un estadio del proceso de interpretación que quedaría bloqueado sobre pautas inmutables a través de las cuales los nuevos acontecimientos serían reconocidos sin feed-back modificador de modo que, poco a poco, la distancia -la ambigüedad- entre pautas de referencia que sirvan para el reconocimiento y acontecimientos nuevos para reconocer se haría cada vez más grande, hasta el punto de que el propio proceso de reconocimiento e interpretación se detendría y, entonces, sólo sobreviviría encerrándose a sí mismo.*" (1990a: 155). De aquí, la importancia destacada por Atlan en el sentido de que un mismo contenido interpretativo puede ser correcto en un individuo y delirante en otro, es decir, puede cumplir una función de bloqueo e inmutabilidad de las pautas estabilizadas o bien contribuir al enriquecimiento de la organización desarrollando nuevas pautas o modificando las ya existentes⁹.

⁹ A este respecto, Atlan realiza una apreciable observación sobre el método científico cuando escribe que: "*Toda hipótesis científica realmente nueva es, de hecho, del orden del delirio desde el punto de vista de su contenido, puesto que se trata de una proyección de lo imaginario sobre lo real. Sólo porque acepta, a priori, la posibilidad de ser transformada o incluso abandonada bajo el efecto de confrontaciones con nuevas observaciones y experiencias se separa finalmente de él.*" (1990a: 156).

TERCERA PARTE

UNA APROXIMACIÓN AL PROCESO DE

AUTO-ORGANIZACIÓN SOCIAL

EN LA PERSPECTIVA DEL PÁNICO COLECTIVO

UNA APROXIMACIÓN AL PROCESO DE AUTO-ORGANIZACIÓN SOCIAL EN LA PERSPECTIVA DEL PÁNICO COLECTIVO.

El porqué los hombres permanecen juntos, la pregunta acerca de la permanencia y el cambio en la sociedad, o la regulación de la violencia colectiva constituyen algunas de las cuestiones que, con mayor o menor fortuna a lo largo de su historia, la teoría sociológica se ha ido planteando de manera renovada. Es éste un debate en el que la importancia de los temas no sólo radica en el enlace que puedan tener con la cuestiones del *orden* y del *desorden*, sino, más básicamente, con la apertura que a la pregunta por las condiciones de existencia de la *sociedad humana* aquéllos representan. Este planteamiento de las condiciones de existencia y emergencia de lo social, desde lo más homogéneo a lo más complejo o de lo indiferenciado a lo diferenciado, no es otro que el asunto de la *morfogénesis social*. Es por esto que cualquier sociólogo, pero muy particularmente el sociólogo político, está llamado a afrontar esta problemática tarde o temprano. Acertar en la respuesta no dejará de ser, para cualquier científico social, algo que en el mejor de los casos será pasajero y, sin embargo, no por ello menos fundamental.

En las páginas precedentes, hemos tenido oportunidad de estudiar la

noción de *auto-organización* en su relación con los conceptos de *orden* y *desorden* desde los ámbitos de las ciencias de la materia y de las ciencias de lo vivo. Estas tres ideas poseen, no obstante, un valor suplementario notable en el contexto de las ciencias sociales. Un aspecto que Dupuy se ha encargado de subrayar, a saber: la profunda ligazón existente entre el descubrimiento de las propiedades auto-organizadoras de lo social y el surgimiento de una ciencia social. En efecto, como el propio Dupuy señala: *"La idea misma de una ciencia social es correlativa al descubrimiento de las propiedades auto-organizadoras de lo social, es decir del hecho de que lo social no es el producto ni de un "programa externo" (voluntad de un radicalmente Otro), ni de un "programa interno" (voluntad general, contrato social, actividad fabricadora de un Estado)." (1985b: 131).*

Para acercarnos a esta nueva conceptualización de la emergencia o aparición de lo social como un proceso auto-organizador, que no depende ni de los elementos que lo constituyen ni de ninguna clase de agenciamiento externo, vamos a considerar los análisis realizados por Dupuy acerca del *pánico* como modelo de totalización de lo *social*. La razón que justifica esta decisión la encontramos en lo que para Dupuy resulta ser el problema lógico y formal subyacente a toda teoría morfogenética de lo social, esto es, el de *"... concebir un proceso de totalización, donde la totalidad, lejos de dominar y guiar desde siempre su efectuación desde la cumbre de su presencia ontológica, se engendre en el movimiento mismo donde se actualiza."* (Dupuy, 1985b: 111). Y este proceso de totalización, que se engendra en el movimiento mismo donde se actualiza, es un suceso que a lo largo de los últimos años Dupuy ha considerado que se encontraba presente en dos clases de *comportamientos colectivos*, en el del pánico social y en el del mercado económico.

Por nuestra parte, al margen de las implicaciones teórico-sociológicas que puedan extraerse de ambos modelos de la totalidad social -el pánico y el

mercado-, nos ha interesado, además, rescatar los esquemas de Dupuy sobre el pánico para realizar un mínimo avance en el estudio del proceso de emergencia de dos *formaciones sociales* diferentes, asociadas -a nuestro juicio- a cada una de las dos situaciones distintas que aquí van a examinarse. Nos estamos refiriendo, efectivamente, a la *masa* cuya aparición está ligada a las situaciones de crisis y a la *muta* cuya presentación será enlazada con las situaciones de catástrofe. Masa y muta serán desarrolladas aquí, de acuerdo con las consideraciones empleadas por Elías Canetti para cada una de ellas. Y es que, como veremos, la crisis será valorada como una situación de implosión, de lenta y profunda asimilación del pánico en los individuos, lo que puede dar ocasión a un proceso de *auto-organización en masa*; mientras que la catástrofe corresponderá, por el contrario, a la explosión, a la rápida y expansiva liberación del pánico latente en toda sociedad, lo que podría dar lugar, por su parte, a un proceso de *auto-organización en muta*.

Por lo demás, nos acercaremos a algunas de las reflexiones de Lourau y Lapassade en relación con el socioanálisis, en la creencia de que ambas *multiplicidades sociales* -masas y mutas- son susceptibles de ser empleadas como *analizadores sociales* de sendas situaciones. En efecto, *crisis* y *catástrofes*, en tanto que situaciones de alta inestabilidad social y política para un sistema social, constituyen no sólo un excelente caldo de cultivo para la aparición de nuevas estructuras, sino para el hallazgo de nuevos mecanismos de *regulación conjunta de la actividad del sistema*. Así, mientras que en situaciones estables, los flujos de información que activan los mecanismos de control de las corrientes que circulan en un sistema permanecen al margen de la actividad que desencadenan, en las situaciones de alta inestabilidad caracterizadas por procesos no lineales de regulación, no ocurre lo mismo. Por el contrario, en esas situaciones de alta inestabilidad, la separación entre flujos regulados y flujos reguladores no es ya apropiada por cuanto que los flujos regulados se convierten a su vez en reguladores, lo que termina generando todo un proceso de auto-regulación del sistema en su conjunto.

CAPÍTULO IX

LA IMPLOSIÓN DEL PÁNICO EN LA FIGURA DE LA CRISIS

LA IMPLOSIÓN DEL PÁNICO EN LA FIGURA DE LA CRISIS

Para Dupuy, la defensa de la tesis de la autonomía social desde el estricto respeto a los principios del individualismo metodológico significa, necesariamente, amparar el postulado de la autonomía de la sociedad y de la ciencia de lo social desde la consideración de dos supuestos aparentemente paradójicos e irrenunciables: "1º) *Son los individuos quienes hacen, o mejor "actúan", los fenómenos colectivos (individualismo); 2º) Los fenómenos colectivos son (infinitamente) más complejos que los individuos que los han generado, no obedeciendo más que a sus propias leyes (auto-organización).*" (Dupuy, 1992: 15). Pues bien, es a las teorías de las multitudes y a las del mercado a las que este autor confiere una mayor coherencia y solidez teórica de cara a resolver la aparente paradoja planteada por la ineludible y simultánea salvaguarda de sendos principios. Ello no obstante, como tendremos ocasión de ver, tanto las teorías del mercado como las teorías sobre las multitudes presentan, salvo en Hayek -en opinión de Dupuy-, un mecanismo de explicación de la auto-exteriorización de la sociedad, fuertemente basado en lo que cabría denominar la paradoja de la *estructura centrada*¹.

¹ En efecto, para Dupuy, Hayek es el más destacado continuador de la tradición liberal del pensamiento social y político del siglo XVIII. En este sentido, Hayek ha sido capaz, desde la ciencia de nuestros días, de aportar una teoría coherente con ambos principios del individualismo metodológico,

En este sentido, tanto la *simpatía* en Adam Smith como el *deseo mimético* en René Girard expresan, en el ámbito de las teorías del mercado y de las multitudes, respectivamente, los mecanismos por los cuales cabe imaginar la auto-exteriorización de la sociedad desde la consideración del individuo como soporte último del comportamiento colectivo y, sin embargo,

originarios de la Escocia del XVIII. Sobre esta interesante cuestión, Dupuy escribe lo siguiente: "*Nacida con las "Luces escocesas" en el siglo XVIII, en las obras de David Hume, Adam Smith, Adam Ferguson, aporta una solución original al problema central de la política moderna: ¿qué hace que una sociedad compuesta de individuos separados permanezca junta? Esta solución consiste en hacer de la sociedad un autómata complejo, un "orden espontáneo" que ninguna voluntad ha querido ni ninguna consciencia ha concebido como si este orden fuese movido por una "mano invisible". Los hombres son autónomos, es el credo de la modernidad, la conquista de las Luces; la sociedad es autónoma en tanto que no obedece más que a leyes propias, extraña a los esfuerzos que los hombres despliegan para moldearla: es lo que en el paisaje político francés se llama conservadurismo. La articulación improbable de esas dos autonomías se vuelve posible por la categoría de complejidad.*

Hoy día, es en la obra de Friedrich Hayek, austriaco de nacimiento, premio Nobel de economía, donde se encuentra la síntesis más esclarecedora de esta tradición liberal. Desde los comienzos de la cibernética a los desarrollos actuales de la teoría de sistemas, Hayek ha participado en los debates del neomecanicismo contemporáneo, encontrando en la noción de complejidad una de sus expresiones más fecundas. Quien dice complejidad dice opacidad, distancia entre sí. El liberalismo de Hayek ve en el reconocimiento de esta opacidad y de esta distancia un doble progreso, en el orden del conocimiento, y en el de la libertad. En el orden del conocimiento, es la disipación de la "ilusión sinóptica": la que viene a inferir de esto que los individuos poseen todos ellos un saber considerable, que esta información podría ser recogida en un punto. Pero en un sistema complejo, no existe regulación central desde donde se pueda juntar todo eso que interesa para el funcionamiento del conjunto, la regulación está distribuida sobre el sistema entero, irreductiblemente. Los hombres aumentarían por tanto su capacidad de acción si reconociesen que existen órdenes espontáneos, "productos de sus acciones, pero no de sus deseos", y si ellos se apoyan sobre los conocimientos que esos órdenes movilizan pero que los individuos no pueden apropiarse. Esos conocimientos toman la forma de reglas, de instituciones, de convenciones que resultan de la costumbre, de la tradición, de la cultura. No son explícitos, no son conscientes, incorporados en el espíritu y no producidos por él, nos permiten localizarnos en un mundo de hechos particulares demasiado complejo para ser modelizado por la razón constructiva.[...].

En el orden de la libertad, el reconocimiento de que el centro está vacío, que el lugar del poder no es a tomar porque este lugar no es ninguna parte -y tal es, según Hayek, la lección política del mercado, el orden complejo por excelencia- es el obstáculo más eficaz que se le pueda oponer a los delirios todopoderosos que los diversos "constructivismos" sociales no han cesado de alimentar.

¿Es necesariamente conservador ver en la sociedad un "autómata complejo"? Ciertamente, las conclusiones éticas y políticas de Hayek tienen con qué chocar a los espíritus progresistas: su condenación radical de todo intervencionismo estatista, su acusación sin apelación de la noción de "justicia social", ese señuelo del Estado providencia. Pero se puede argumentar que esas conclusiones no derivan en ningún caso de una epistemología de la complejidad. Hayek plantea así por principio que sólo puede ser calificado de justa o injusta una conducta personal. Decir de un orden social espontáneo complejo que es injusto, sería caer en el antropomorfismo y el animismo del pensamiento primitivo, el cual atribuye toda forma social a la acción voluntaria y consciente de un agente identificable; esto sería una vez más buscar chivos expiatorios." (Dupuy, 1992: 214-215).

distinto a él². Por consiguiente, hasta aquí, la propuesta que se nos hace cabe entenderse como que de lo que se trata es de "... *casar las formas del individualismo moderno preservando siempre la complejidad y la autonomía de los fenómenos colectivos y sociales.*" (Dupuy, 1992: 7). En definitiva, Dupuy se mueve en el terreno de la investigación teórica de un método que, partiendo del individualismo, se manifieste como complejo y no reductor. Es en el estudio de los *modelos formales* que articulan el paso de lo individual a lo colectivo donde este autor ha realizado sus más fecundos análisis, encontrando: "...tres formas de respuesta aparentemente bien contrastadas a este problema: el contrato social (Hobbes, Rousseau, John Rawls), el mercado (Montesquieu, Adam Smith, el equilibrio económico general de Léon Walras y sus avatares, Friedrich Hayek, Robert Nozick) y la multitud (Le Bon,

² Sobre la noción de simpatía en Adam Smith y su relación con el contagio mimético, Dupuy desarrolla la siguiente reflexión: "En un primer sentido, pasivo, la simpatía es la constatación de la coincidencia de sentimientos entre el espectador y el actor. Esta coincidencia es la piedra angular de la teoría smithiana de la moralidad. El juicio moral es siempre un juicio de aprobación o de reprobación. Ahora bien decir que aprobamos, no es más que decir que simpatizamos.

Sin embargo, Smith introduce un axioma suplementario en su sistema, en el que el peso se revela determinante: el "placer de la simpatía recíproca": el acuerdo de los sentimientos es agradable, tanto para el espectador como para el actor. A decir verdad, es uno de los principales placeres de la existencia. Ahora bien el actor sabe (por experimentarlas él mismo) todas las dificultades que hay en colocarse en el lugar del otro. Él se sitúa en el lugar del espectador poniéndose en su lugar. Es por esta lógica rigurosa que Smith llega a redoblar el operador de simpatía sobre sí mismo, dándole así su verdadera significación. Este operador al cuadrado, es el de la simpatía activa: cualquiera que busque activamente la simpatía de los otros simpatiza con el hecho de simpatizar consigo. Examinemos sus propiedades.

Notemos primeramente que este operador de simpatía activa elimina una dificultad lógica propia del operador de primer orden. Por principio, el espectador no tiene acceso a los sentimientos experimentados por el actor. ¿Cómo podría por tanto juzgar si coinciden o no con aquellos que la simpatía les hace sentir? ¿Cómo por consiguiente decidir si los aprueba o no? El actor que se coloca en lugar de su espectador no tiene este problema. Conoce sus propios sentimientos, y le es posible concebir los del otro porque están reglados por leyes de la simpatía de primer orden, que evidentemente él conoce. Sabe por ejemplo que el espectador no tiene acceso directamente a sus sentimientos, que él los imagina a la vista de su situación. Sabe que el espectador juzga en función de sus propios criterios, de su situación de exterioridad. Sabe que el espectador tiene más o menos ganas de ponerse en el lugar de él, actor, según el tipo de pasión que le anima. El actor sabe todo eso, y desea la simpatía del espectador: adapta por tanto sus propios sentimientos a los de su espectador tal como él los concibe. El juicio que manifiesta sobre su situación está copiado sobre el criterio que el otro plantea sobre esta misma situación. Tras una vuelta compleja, la simpatía se parece pues a un principio de contagio o de imitación. En efecto, es el actor quien imita al espectador, y no a la inversa, pero en Smith los papeles se intercambian permanentemente. En su "teatro social", cada uno es a la vez actor y espectador. El sujeto smithiano vive constantemente bajo la mirada del otro; es un ser fundamentalmente mimético, siempre propenso a perderse en los espejos que le ofrecen los otros." (Dupuy, 1992: 178-179).

Tarde, Freud, René Girard y, en la parte de su obra que concierne a la especulación y los mercados financieros, Keynes)." (Ibídem).

El análisis formal de estos tres modelos revela, a juicio de Dupuy, la existencia de una lógica, que él mismo denomina como la *lógica del punto fijo exógeno*, mediante la cual los individuos se darían un orden social ajeno a cada uno de ellos, en cuanto que seres independientes los unos de los otros. A este respecto, Dupuy constata la existencia de una complicidad profunda entre una concepción individualista del desorden y una concepción individualista del orden, sobre la base de la presencia o ausencia de ese punto fijo exógeno³. Ahora bien, dado que el orden más racional y el desorden más caótico basculan ambos sobre la presencia o ausencia de un punto fijo externo, Dupuy propone la siguiente transformación: "... *reemplazar, tanto el punto fijo exógeno del orden monadológico cuanto la ausencia de punto fijo*

³ En efecto, como señala el propio Dupuy: "El orden, en el universo individualista de la Modernidad, tiende siempre a pensarse según la lógica de lo que llamo aquí "el punto fijo exógeno". El mundo está hecho de entidades atómicas, es decir indivisibles, cualitativamente diferentes y perfectamente independientes las unas de las otras. [...]. ¿De dónde puede provenir el orden en un sistema como ese? De una "armonía preestablecida", de una programación del conjunto de las mónadas por el "punto fijo exógeno", es decir la totalidad, Dios o sus sustitutos terrestres. Los individuos monádicos no instauran el orden, ellos son simples soportes, les sirven sin incluso saberlo ni quererlo. Las expresiones entre comillas son evidentemente extraídas de la Monadología de Leibniz, en el que el modelo es el arquetipo de las representaciones individualistas de un universo ordenado. Por tanto, resulta reseñable que un especialista del holismo como Louis Dumont pueda decir del sistema de Leibniz: "Aquí el modelo moderno mismo deviene un caso particular del modelo no moderno". No es menos destacable que los numerosos avatares de la Monadología, la "Mano invisible" de Adam Smith, la "Astucia de la Razón" de Hegel, y muchas otras, sean a veces o a menudo confundidas con el holismo, en vista al privilegio otorgado a la totalidad y a la preeminencia que le es reconocida. Estos esquemas, lo hemos destacado en múltiples ocasiones, se apoyan sobre las paradojas que Derrida asocia a la "estructura centrada". El punto fijo exógeno, la piedra angular del conjunto, se revela peligrosamente bamboleante. La tentación de suprimirlo es grande. ¿Qué se obtiene cuando se priva a una estructura centrada de su centro? Todas las figuras "post-modernas" del desorden individualista acuden en masa. Si "Dios está muerto", entonces el mundo no es más que un "caos eterno", está "sin orden", sin belleza, sin nobleza, sin origen ni fin, sin objetivo, sin sentido, [...]. El mundo no es más que un conjunto de puntos de vista individuales inconmensurables que no pueden comunicar entre ellos - como en Leibniz-, pero además -y es la única diferencia con Leibniz- no es ningún lugar exterior a las mónadas donde se realiza la integración de los puntos de vista. No hay por consiguiente más que interpretaciones, e interpretaciones de interpretaciones, etc, sin que esta cadena de interpretaciones deba pararse jamás: "No hay hechos, únicamente interpretaciones"; el discurso es infinito -es "nuestro nuevo Infinito"-, no hay más que significante. Las expresiones entre comillas son de Nietzsche. El nietzscheísmo es una de las cosas mejor heredadas, no tiene parangón más que con las figuras racionalistas de la "astucia de la Razón". (1992: 20).

del desorden individualista por una figura de punto fijo endógeno." (1992: 20).

Pero, ¿de qué modo las teorías de la auto-organización pueden suministrar los conceptos y modelos que permitan elaborar la idea del punto fijo endógeno? Para Dupuy, es en torno a la emergencia de comportamientos propios, característica de los sistemas autónomos, sobre la que puede trazarse la distinción del punto fijo como uno de estos comportamientos⁴. Así, Dupuy destaca que: *"El punto fijo emergente (llamaré también: "endógeno") no es el principio unificador alrededor del cual y por el cual la totalidad se organiza, es una singularidad de esta totalidad que resulta de su repliegue sobre sí. No es por tanto una causa sino un efecto."* (1989a: 259). Pues bien, para Dupuy, el pánico es una singularidad, un efecto del sistema, un punto fijo endógeno producido por la comunicación de los elementos de una totalidad por mediación de la totalidad misma. De este modo, Dupuy supera la paradoja creada en la teoría freudiana cuando la masa al perder su jefe -su punto fijo, su operador de totalización- dando lugar a la aparición del pánico, ocurre que, sin embargo, en ese preciso momento es cuando la masa manifiesta, más fuertemente si cabe, su carácter masivo.

Las implicaciones que se derivan de esta reflexión suponen el abandono de la distinción entre masas naturales y masas artificiales, es decir, entre

⁴ Sobre la noción de *comportamiento propio*, Dupuy utiliza la teoría de la clausura operacional, desarrollada por Varela, tendente a dar una explicación a la existencia de sistemas autónomos con independencia de si estos sistemas son sociales, biológicos, o de otro tipo. En este sentido, hay que señalar el desacuerdo de Varela con la aplicación de la teoría autopoietica a los sistemas sociales, particularmente realizada por Luhmann, por cuanto que para Varela, pero también para Maturana, la autopoiesis es propiamente biológica. A través de la teoría de sistemas autónomos, basados en la presencia de clausura operacional en los mismos, es como Varela intenta abrir el campo de aplicación de la autopoiesis, específicamente biológica -como hemos indicado- a otros ámbitos de la investigación. En todo caso, para Dupuy: *"El concepto más fundamental de la teoría de sistemas autónomos es el de emergencia de "comportamientos propios" (eigenbehaviors): la clausura organizacional -el cierre de los elementos y de sus relaciones los unos sobre los otros- hace aparecer en el nivel del todo propiedades nuevas que el sólo examen de los elementos no habría podido prever. Se habla así de "efectos del sistema" para designar esas emergencias colectivas."* (Dupuy, 1989a: 259).

multitudes anárquicas o espontáneas y aquellas otras construidas en torno a un cabecilla o líder, respectivamente. De manera que, la consideración del líder como constructor, como articulador, como operador de totalización de una multitud, en tanto que el conductor de masas representa un punto fijo exógeno a la masa que produce, debe ser abandonado en provecho de una perspectiva endógena, en la que la singularidad del jefe no sea más que un efecto del sistema⁵. A este respecto, Dupuy concluye que: "*Es preciso salir del paradigma del punto fijo exógeno, programa y productor de la multitud, para enfocar el paradigma del punto fijo endógeno (o: "comportamiento propio emergente", o "efecto del sistema"), producido por la multitud cuando ésta se imagina estar producida por él.*" (1992: 37).

En la situación de *pánico* nos encontramos, por tanto, con que la multitud se establece no ya por referencia a un punto fijo endógeno del tipo jefe o líder, que constituye una focalización más o menos metaestable, sino por la emergencia en lugar de éste, de otro punto fijo endógeno que no es otro que el *movimiento colectivo* mismo. El proceso de autotranscendencia, de puesta en distancia del sí mismo en su relación consigo, implicado en el movimiento pánico, se explica por la autonomía que desarrolla la multitud respecto a los diferentes movimientos individuales que sin cesar lo alimentan. En este sentido, Dupuy señala dos aportaciones teóricas resonantes con esta observación: "*Como Durkheim lo ha notado, la totalidad social presenta en*

⁵ En este sentido, como nos señala Dupuy: "*Tratar al jefe como un punto fijo endógeno, es afirmar que no son sus cualidades intrínsecas (su pretendido narcisismo o carisma) lo que le vale su posición central, sino el proceso por el cual ese sistema autónomo que es la multitud se cierra sobre sí mismo. El jefe da la impresión de no tener necesidad del amor de los otros, pero eso es una ilusión óptica. Es porque ya lo ha conquistado por lo que puede creerse que podría pasarse sin él. En cuanto que lo pierda, (como inevitablemente ocurre tarde o temprano, puesto que todo punto fijo endógeno es, con grados diversos, arbitrario e inestable) sería él el primero en hacer de todo para conquistarlo. No se puede jamás amarse a sí mismo más que en la medida en la que otros le aman. El narcisismo no es sino una ilusión, no hay más que "pseudo-narcisismo" (Girard, 1961). La singularidad del jefe no se debe a sus características individuales, es un efecto del sistema. Decir que el jefe (el poder) es un punto fijo endógeno, es decir que el colectivo humano toma por punto de referencia exterior algo que proviene de hecho de sí mismo, por la composición de las acciones independientes de sus miembros.*" (Dupuy, 1992: 37).

esos momentos de "efervescencia" todos los rasgos que los hombres atribuyen a la divinidad: exterioridad, trascendencia, imprevisibilidad, inaccesibilidad. Elías Canetti anota por su parte que "la masa tiene necesidad de una dirección" de un objetivo que sea dado "desde afuera de cada individuo", "idéntico para todos": poco importa cuál sea, en la medida en que no es "aún alcanzable" (Canetti, 1966)." (Dupuy, 1992: 37).

La reflexión, por consiguiente, que conduce la operación de análisis realizada por Dupuy respecto del pánico, entre otras figuras de la totalización social, supone no sólo la consideración teórica de un mismo mecanismo subyacente tanto al orden como al desorden sino, además, una representación más práctica aún si cabe, en cuanto al problema de la auto-organización en el paradigma del orden a través del desorden se refiere. Y es que la reflexión de Dupuy nos plantea: *"... un orden sin fundamento ni destino en una verdad o una realidad últimas; deviene simétricamente posible concebir que el desorden puede a veces organizarse en formas estables. La cuestión no es puramente filosófica, gobierna nuestra manera de relacionarnos con las normas, reglas, convenciones que organizan la vida social, siempre en parte contingentes y sin fundamento en una Razón incontestable, pero sin las cuales simplemente no habría sociedad."* (Dupuy, 1992: 21). De manera que volveríamos, de la mano de Dupuy, a contemplar ese efecto contraproducente del desorden, estabilizado, al que hemos hecho referencia en las dos partes anteriores de esta tesis doctoral, y que se viene constituyendo en la secuencia que genera tanto la estructura disipativa de la termodinámica, como la aparición de la novedad en biología o la convención social en sociología, gracias a un mismo mecanismo auto-organizador que los conforma.

Es en este orden de cosas, como nuestra propuesta se configura sobre el supuesto de que si el pánico constituye un punto fijo endógeno, por el cual la totalidad social se proyecta cohesionada en el mismo movimiento que la disgrega: ¿por qué no hacer de esa huída pánica un modelo de la *cohesión*

social? Y si ello fuese posible, al menos hipotéticamente, ¿en qué circunstancias puede generarse un mecanismo tan paradójico como para mantener a la población de modo latente en continua agitación pánica? Pues bien, es aquí donde, a nuestro juicio, la *crisis* se muestra como situación más ajustable a los requisitos señalados. Es decir, por un lado la situación crítica se muestra siempre como altamente inestable y, sin embargo, por otro lado, susceptible de proporcionar una cierta cohesión al colectivo que la soporta, una cohesión en forma de *masa social*. Por lo demás, la consideración de la cohesión social en términos de fuga en masa, está directamente inspirada en la observación de Canetti según la cual una masa de animales en fuga permanece unida. Así, nos recuerda Canetti: "*El miedo masivo de una manada que huye es el más antiguo y, podría decirse, el más familiar estado de masa que se conoce.*" (1983: 305)⁶.

A este respecto, debemos indicar que siempre será la *amenaza de muerte* lo que hace huir. Ciertamente, cada una de las distintas crisis que puedan considerarse presentarán, igualmente, diferentes grados de intensidad y extensión en cuanto a la efectividad del particular mecanismo de amenaza puesto en funcionamiento y, sin embargo, siempre es posible que, como consecuencia de la amenaza, lejos de conseguirse un efecto disgregador y masificador se obtenga, por el contrario, la condensación de la amenaza en un comportamiento social auto-organizado, un efecto contraproducente de la amenaza que colocaría al sistema social al borde de la ruptura. Esa situación

⁶ La profunda reflexión que efectúa Canetti en relación con la fuga en masa y a su conexión con el sacrificio, no puede dejar de subrayarse por la extraordinaria vinculación temática que, para la teoría girardiana sobre la violencia y lo sagrado, ésta representa: "*De este estado de miedo de masa deriva muy probablemente el sacrificio. Un león que persigue una manada de gacelas, todas juntas huyendo de miedo ante él, cesa su persecución apenas ha conseguido atrapar uno solo de los animales. Este animal es su ofrenda, en el sentido más amplio de la palabra. Proporciona tranquilidad a los otros compañeros de manada. No bien el león tiene lo que quiere, y no bien ellos lo advierten, amaina el miedo. De la fuga en masa vuelven a entrar al estado normal de manada, cada animal pasta libre y hace lo que se le antoje. Si las gacelas tuviesen religión, si el león fuese su dios, le podrían, para saciar su avaricia, entregar por propia iniciativa una gacela. Exactamente eso es lo que ocurre entre los hombres: del estado de miedo masivo deriva en ellos el sacrificio religioso. Detiene la carrera y el hambre del peligroso poder por un tiempo.*" (Canetti, 1983: 305-306).

que bordea la ruptura del régimen de la cohesión social, basada en la implosión del pánico en la sociedad a través del recurso a las amenazas, es el proceso que puede denominarse como: *movimiento de masas*.

Con el movimiento de masas, como decimos, el régimen de implosión del pánico en la población queda al borde de la ruptura. Puede decirse que, de una situación de crisis, caracterizada por la amenaza, se pasa a una situación de *catástrofe virtual*. Decimos virtual, porque la actualización de la catástrofe para ese sistema social supondría un cambio radical en el régimen de funcionamiento de la implosión pánica. En la catástrofe, los papeles del colectivo que amenaza y del colectivo que huye se intercambian. Los amenazados en la situación de crisis pasarían a ocupar la posición de amenazantes y, a la inversa, los amenazadores se convertirían en la situación de catástrofe -de cambio radical- en los amenazados. El movimiento de masas, sin embargo, no llega a traspasar esa situación que distingue a la crisis de la catástrofe, se mantiene en el límite. Mejor dicho, el *movimiento de masas* constituye el *límite de la implosión del pánico* en una población. Más allá de este límite, la inversión de los papeles es posible. La explosión del pánico puede volverse real, entonces, de la catástrofe virtual pasaríamos a una situación de catástrofe actualizada⁷.

La amenaza se convierte así en una herramienta mediante la cual, en

⁷ En este sentido, el *estallido hostil* al que se refiere Smelser constituye un excelente ejemplo de lo que aquí se considera una explosión del pánico. Más concretamente, es el estallido hostil que se inicia a continuación del miedo pánico, al que nos referimos como explosivo: "*Para plantear los problemas implicados en el análisis del estallido hostil, consideremos dos secuencias comunes: el furor colectivo seguido de miedo pánico, y el miedo pánico seguido de la hostilidad.*

Como hemos visto, la fase especulativa del furor colectivo constituye con frecuencia una condición suficiente para la presentación de un pánico. Por ejemplo: a medida que los precios se disparan en un auge, aumenta la aprensión entre los propietarios de valores. Un suceso crítico, quizá un rumor de que un gran tenedor está vendiendo, cristaliza esta ansiedad y dispara una avalancha de ventas. En muchos casos los líderes del auge tratan de detener el derrumbe, pero resulta difícil la estabilización del mercado en cuanto se inicia un miedo pánico.

Los pánicos y los estallidos hostiles ocurren también con frecuencia en secuencias. En un pánico tras otro, el derrumbe del comportamiento organizado se ha visto seguido de ataques a las personas y las instituciones que se perciben como responsables del desastre." (Smelser, 1989: 243).

situaciones de crisis, cabe la posibilidad de implosionar, es decir, de inducir mediante presión, el pánico en la población. Un efecto que, como se ha indicado, provocaría la cohesión de esa misma población por efecto mismo de la amenaza. En este sentido, ya hemos indicado la observación de Canetti según la cual una masa de animales en fuga permanece unida. Con todo, no debemos olvidar que, el efecto directo que se esconde tras la amenaza, es la huida, no el enfrentamiento; razón por la que -como se ha señalado- cuando ocurra este último suceso hablaremos entonces de catástrofe, es decir, de un cambio radical en la *tendencia de huida*. Diremos entonces, que se ha generado un proceso de auto-organización social en forma de muta, la cual se convertirá en el nuevo núcleo social perseguidor. La muta, como se verá en el siguiente capítulo, es la forma social que adopta una explosión del pánico.

IX.1. LA MASA COMO ANALIZADOR MOLAR DE LA CRISIS.

La regulación de la violencia colectiva constituye uno de los problemas fundamentales a resolver por cualquier colectividad humana con voluntad de pervivencia. A nuestro juicio, la cohesión social de una particular sociedad descansa sobre la satisfactoria gestión de la información más energética que puede circular por el sistema social: la *violencia colectiva*. La amenaza -ya se ha dicho- es la herramienta de trabajo en las situaciones de crisis. En el grado más grave de esta clase de situaciones, es la amenaza de muerte quien se dibuja en el horizonte inmediato de todo partícipe en una situación de violencia colectiva desatada. La *incertidumbre* que caracteriza a cualquier situación inestable, apenas si permite trazar un mínimo cálculo de actuación que no sea paralizante para el individuo que lo efectúa. De hecho, siuviésemos que resumir en una sola pregunta en qué consiste una *crisis*, esa sería la de *¿qué va a pasar?* Y es que todo individuo interviniente en una crisis

está amenazado. Y, sin embargo, como veremos, nada tan eficaz como prever esta clase de situaciones mediante la lenta y paulatina dosificación de la violencia en la comunidad a la cual se trata de alejar de la situación de violencia colectiva desenfrenada.

En este sentido, probablemente, una de las cuestiones que más fácilmente suelen pasar desapercibidas en las sociedades occidentales industrialmente avanzadas, es el hecho de las ingentes *dosís de violencia* que son asumidas por las poblaciones que en ellas habitan. Ciertamente, la mayor parte de los sucesos altamente violentos que llaman la atención de estas gentes suelen ocurrir allende sus fronteras y, sin embargo, la eficacia del ritual informativo acerca de las mismas, termina por infundir una gran tranquilidad, a posteriori, respecto a la paz que, por contra, se respira en sus respectivas metrópolis. Tal vez sea René Girard uno de los primeros investigadores sociales en darse cuenta de la profunda analogía entre el proceso de vacunación, de la inoculación de un poco de enfermedad como preparación y protección ante la verdadera y evidente dolencia, y de la *implosión* -diríamos nosotros- de "... *un poco* " de violencia en el cuerpo social para hacerle capaz de resistir a la violencia. La cantidad y la exactitud de las analogías producen vértigo." (Girard, 1983: 302).

A este respecto, nuestro propósito es mostrar cómo la masa es un *analizador social*, es decir, un fenómeno social susceptible de revelarnos el sentido de la crisis en nuestras sociedades. Y es que, la masa se constituye, a nuestro juicio, en la multiplicidad social característica y emergente de las situaciones de lenta y paulatina implosión del pánico en la población. El análisis de la masa como revelador de esta clase de dispositivo para el mantenimiento de la cohesión social en las sociedades avanzadas, convierte a ésta en un enorme analizador social, tal vez el más grande, de aquí el nombre de *molar* frente al de molecular que reservaremos, por su menor amplitud y carácter más intensivo, para la muta. De este modo, desarrollamos

la indicación de Lapassade según la cual es preciso como primera condición para la realización de cualquier socioanálisis "... *ubicar dentro del campo del análisis dispositivos que deban catalizar las significaciones y permitir cercar y luego analizar lo que justo hasta entonces estaba disperso y disimulado en el conjunto del sistema. La ubicación de los analizadores ya forma parte del análisis.*" (Lapassade, 1979: 30). Por consiguiente, el análisis de la crisis como dispositivo de cohesión social en nuestra sociedad pasa, a nuestro juicio, por la consideración de la masa como analizador social coherente con esta clase de situación altamente inestable que es la crisis.

Pues bien, para aproximarnos al estudio de este particular modo de regular la violencia colectiva que es la crisis, conviene recordar -muy brevemente- cómo, en nuestro capítulo anterior, anotábamos una de las soluciones más sorprendentes que se le ofrecían a un sistema complejo para enfrentar una situación de *crisis aguda*. Este tipo de situación, decíamos, venía provocada por la decodificación de la información, por parte de alguno de los distintos niveles en que se podía conformar un sistema complejo, como si de ruido se tratase. La solución que se proponía al sistema complejo para salir de una situación de crisis aguda no era otra que: la proyección de un sentido, de una significación a ese ruido percibido. El coste de la operación ya se indicó: someter al sistema a una situación de *crisis latente y prolongada*. La ventaja -como fue señalada- era incierta y, no obstante, prometedora: volver a recargar la homogeneidad, la *redundancia*, la intercambiabilidad entre los elementos del sistema.

En definitiva, de lo que se trataba era de reducir la *variedad* del sistema dado que ésta había alcanzado un nivel de complejidad para el mismo, lo suficientemente alto como para poner en peligro la supervivencia del sistema, sobre la base de que algunos niveles de integración eran incapaces de entender lo que estaba sucediendo en su interior. Ahora bien, también la sociedad es un sistema complejo que puede alcanzar niveles de variedad tan

elevados, como para que sus diferentes niveles de integración -o estratificación- se muestren, en determinados momentos, incapaces de decodificar las informaciones que le suministran los niveles más bajos de integración. De manera que, también para la sociedad, para los diferentes niveles de estructuración que pueden conformarla, la incompreensión de la información que por sus redes circula genera, obviamente, situaciones de crisis aguda. Pero, ¿qué clase de *información* es susceptible de producir una ocasión más peligrosa y comprometedora para la supervivencia del sistema social? A nuestro juicio, la respuesta es clara, la información con mayor contenido energético que es capaz de circular por una sociedad: la *violencia colectiva*.

¿Cómo salir de la crisis aguda? La solución, en el caso de los sistemas jerarquizados y de acuerdo con el principio de complejidad a través del ruido, ya se ha destacado, se trata de proyectar significaciones -adecuadas o no- a las distintas perturbaciones o ruidos que afectan al nivel en cuestión. Todo lo cual se hace en la esperanza de que este fenómeno de proyección, permita aumentar la redundancia y disminuya la variedad del sistema complejo. Pues bien, esta secuencia de etapas -sociológicamente hablando- no existe en ninguna clase de formación social con el vigor y claridad con la que se produce y lo hace en el proceso de constitución de una *masa social*. En efecto, una multiplicidad social, la masa, que tiene su punto álgido justamente en la maximización de la redundancia: la igualdad. "*El acontecimiento más importante que se desarrolla en el interior de la masa es la descarga. Antes de esto, a decir verdad, la masa no existe, hasta que la descarga la integra realmente. Se trata del instante en el que todos los que pertenecen a ella quedan despojados de sus diferencias y se sienten como iguales.*" (Canetti, 1983: 12). He aquí, por consiguiente, la forma social más extensa y redundante que se haya conocido: la masa. De ella, hemos hecho la observación de que, en la perspectiva del punto fijo endógeno, no debe su cohesión a un agente externo sino a la emergencia de un comportamiento

propio como resultado del movimiento pánico que la moviliza.

A nuestro juicio, la masificación constituye, por consiguiente, el proceso de carga de redundancia en situación de crisis, más importante, sociológicamente hablando, que se conoce. Sin embargo, si a Dupuy le ha correspondido el mérito de reflejar las implicaciones teórico-sociológicas de ese momento morfogenético de lo social en el que la masa empaniquecida se autotrasciende en su propio movimiento colectivo; ha sido Elías Canetti, sin embargo, quien -por su parte- se ha encargado de dar cuenta de una multiplicidad, algo más duradera en el tiempo, de esa primigenia forma social que toma sentido en el movimiento colectivo mismo: la *masa de fuga*. Es esta clase de masa la que nos permitirá una mejor ilustración de la importancia y significado de la crisis en nuestras sociedades. Sobre esta clase de masa, Canetti escribe lo siguiente: "*La masa de fuga se establece por amenaza. Le es inherente que todo huya, que todo sea arrastrado. El peligro que lo amenaza a uno es el mismo para todos. Se concentra sobre un determinado lugar. No hace diferencias. [...]. Mientras están juntos, perciben el peligro como repartido. Existe la remota idea de que el peligro que se cierne caerá en un lugar.*" (1983: 47). Esta masa de fuga que mantiene su cohesión en la fuga, en el movimiento mismo que le caracteriza como masa, es preciso subrayarlo, funda su existencia y permanencia en la singular amenaza que la constituye.

Pero la *amenaza* no tiene por qué verificarse, necesariamente, sobre su correspondencia con un agenciamiento exterior concreto. Al contrario, en la teoría del punto fijo endógeno, como hemos visto, la masa de fuga puede generarse por una amenaza producida por la misma masa cuando ésta se imagina, sin embargo, estar producida y deber su subsistencia a una particular amenaza exterior a ella misma. Este fenómeno de emergencia de propiedades y efectos ajenos a los elementos de un sistema considerados individualmente, y que surge, sin embargo, por causa del hecho de estar reunidos en un

número muy elevado y ligados entre sí por conexiones triviales, es muy conocido en el estudio de los sistemas complejos y es denominado como *histéresis*. De hecho, como vimos en el capítulo anterior, tanto el delirio como la interpretación son procesos de emergencia, equivalentes a la manifestación de propiedades y efectos de proyección imaginaria de amenazas tales como a los que aquí hacemos referencia, cuya única diferencia en cuanto al sentido funcional y operativo que aportan al sistema complejo que las produce, es el proceso de auto-organización que las constituye. Es decir, sólo la congelación o paralización del proceso de auto-organización que se observa en el delirio, permite distinguir a una clase de proyección de sentido -es decir, de información funcional para el sistema- delirante de otra que no lo es y que consideraremos correcta. Corrección que será valorada no por cuanto que se corresponda con una supuesta realidad objetiva, justamente, sino porque el proceso de auto-organización que la ha generado, persiste en su funcionamiento.

Por lo demás, a la capacidad para hacer emerger amenazas, hay que unir dos importantes características adicionales que hacen idónea la consideración de la masa de fuga como analizador de la cohesión social en situaciones de crisis. La masa, hemos dicho, constituye una multiplicidad social básica por su redundancia -su ausencia de diferenciaciones internas- que le permite, le posibilita, ser la multiplicidad originaria de un posterior proceso de complejización, basado en el aumento de la variedad y consiguiente estructuración de sus elementos, en sucesivos niveles de integración. No obstante, una primera característica adicional que contribuye poderosamente a señalar la masa de fuga, como analizador molar de las situaciones de crisis, es su *extensión*. Así, como nos indica Canetti: "*De todas las formas de masa es la de fuga la que más abarca.*" (1983: 48). Por su amplitud, por su capacidad para integrar toda clase de individuos, es la multiplicidad social más calificada para que la compleja variedad, que eventualmente genera la crisis, tenga cabida en ella. A este respecto: "*La*

imagen desigual que brinda, no sólo resulta de la participación de todos, sino que es confundida también por las velocidades muy distintas que son capaces de desarrollar estos hombres en su fuga. Entre ellos hay jóvenes, viejos, fuertes, débiles, más o menos cargados." (Ibídem).

Sin embargo, a esta primera característica que hace de la masa de fuga la forma social que mejor recoge la diversidad y la variedad en toda su extensión, que en un sistema complejo puede generar una crisis -como hemos visto mediante el estudio del principio de complejidad a través del ruido-, hay que unir una segunda cualidad que no debe ser olvidada de cara a reforzar la, ya de por sí elevada, carga de redundancia que se da en cualquier masa. Esta ventaja específica que incrementa la ya señalada carga de redundancia, presente en toda masa social, es la de la existencia de una *dirección común de fuga* a todo el colectivo afectado. Así, Canetti no deja de hacer hincapié en que, pese a la diversidad aparente de las gentes incluidas en una masa de fuga, no debe dejar de prestarse atención al elemento más significativo de esta clase de masa, su *dirección*: "*Lo abigarrado de esta imagen puede confundir a un observador que esté al margen. Es casual y -comparado con la arrolladora fuerza de la dirección- carente de toda significación.*" (Canetti, 1983: 48). En este mismo sentido, la carga de redundancia que se produce entre los individuos que conforman la masa de fuga, basada sobre la extraordinaria intensidad con la que mantienen el movimiento colectivo en una dirección, es vuelta a poner de manifiesto: "*Porque lo más llamativo de la fuga de masas es la intensidad de su dirección. La masa, por así decir, se ha convertido toda ella en dirección para alejarse del peligro. Puesto que sólo importa la meta, en la que uno se salva, y el espacio que existe hasta ella, las distancias que antes existían entre los hombres se vuelven irrelevantes.*" (Ibídem).

Ahora bien, hasta ahora hemos visto por qué la masa, y más concretamente la masa de fuga, constituye en su presencia un *analizador*

molar de la crisis en un sistema social. Crisis del tipo descrito por el principio de complejidad a través del ruido, es decir, crisis provocada por una deficiente decodificación de la información -que es interpretada como ruido- debida a una excesiva variedad en el sistema complejo que se trate. Sin embargo, en nuestras sociedades industrialmente avanzadas, raramente encontramos fenómenos de masas del tipo descrito por Canetti. Se pueden encontrar marchas de protesta de trabajadores que se dirigen a la capital del Estado como consecuencia de la particular crisis económica que les afecte, manifestaciones políticas de rechazo a alguna cuestión que les preocupe, etc., pero sólo de manera excepcional, es toda una sociedad la que se ve implicada en un proceso de fuga en masa como el descrito por Canetti y que, ciertamente, contribuya a la cohesión de los individuos que en ella participan. ¿De dónde, pues, extraer una utilidad genérica para el análisis de nuestra sociedad, de ese analizador molar de la crisis que hemos considerado como la masa?

La razón, se dejó anotada al principio de este punto cuando se trazó la distinción entre *crisis aguda* y crisis latente o prolongada. En efecto, la crisis aguda es la que mejor se adapta a la situación de masa de fuga en los términos originales en que Canetti nos la describe. Ahora bien, teniendo en cuenta las apreciaciones de Atlan sobre la manera de salir de una situación de crisis aguda, mediante la proyección de un sentido a las perturbaciones que un determinado nivel de integración de un sistema complejo percibe, aquí vamos a considerar una hipótesis no por repetida menos fundamental, y es la de que: "*Concepto positivista por excelencia, la "crisis" no describe nada, no explica nada, de no ser un nuevo modo de regulación de los sistemas, un nuevo tipo de funcionamiento de las instituciones.*" (Lourau, 1980: 225). Es decir, en esta perspectiva la crisis aparece, en nuestra sociedad actual, como un modo habitual de funcionamiento de la misma, del que se puede afirmar que se encuentra ya, plenamente integrado en los modos de regulación comunes a nuestros sistemas sociales.

Esto significa que la *crisis latente* se ha instalado en nuestra sociedad como dispositivo disuasorio de crisis agudas, mucho más peligrosas por su virulencia y extraordinario poder movilizador. Ahora bien, ¿qué clase de sistema es aquél que se mantiene y perdura por la puesta en marcha de un dispositivo de crisis permanente? ¿Cómo regular la cohesión social de un sistema basado en la integración de la violencia colectiva como forma corriente de supervivencia? A nuestro juicio, la solución sólo puede provenir de la dosificación del dispositivo de amenazas que configuran la regulación de la cohesión social, dentro de una clase de sistema cuyo propio funcionamiento esté basado en la huida. ¿Existe una clase de sistema con estas características? No dilataremos más la respuesta, creemos que sí. Se trataría de un sistema volcado hacia un *atractor de tipo fractal*, es decir, hacia una dirección densa que tomaría diferentes sentidos a medida que nos aproximamos a ella, al tiempo que permanecemos en ella.

Pero ¿qué clase de sistema social es capaz de manifestar un comportamiento emergente del tipo descrito? Para vislumbrar tal sistema conviene apreciar que, si bien tradicionalmente se viene hablando y teorizando sobre la sociedad en términos de sistema, ello no obstante, hay quien considerando la extremada complejidad de la sociedad y asumiendo la apertura al cambio y a la historia que la regulación de un sistema social precisa, considera incompleta la aproximación sistémica en los términos comúnmente aceptados. Es, en este sentido, que Ibáñez se inclina a pensar, compartiendo nosotros esa postura con él, que si bien en la sociedad pueden darse sistemas con fronteras bien definidas, la sociedad misma no es uno de esos sistemas, pues ésta no tiene fronteras ni en el espacio ni en el tiempo⁸. Así, Ibáñez asume e incorpora las reflexiones del epistemólogo Michel Serres anotando: "*Serres había distinguido los sistemas (literalmente, "estar parados*

⁸ Esta misma opinión es mantenida por Gerard de Zeeuw, al que creemos que corresponde originalmente esta idea de la ausencia de *fronteras* en la sociedad. Véase el artículo de, de Zeeuw, incluido en Ibáñez, 1990: 27.

juntos") de los sirremas (literalmente, "correr juntos"): los sistemas conservan una forma espacial por homeostasis, los sirremas conservan una forma temporal por homeorresis (son dos modos de morfostasis o conservación de la forma)." (Ibáñez, 1990: 8)⁹.

De este modo, el *sirrema* constituiría un modelo particularmente más adecuado, para dar cuenta de la regulación de la cohesión social, mediante la huída hacia adelante que supone la aceptación de la crisis, en tanto que situación de convivencia habitual en las sociedades occidentales avanzadas. La *amenaza global* del paro, la droga, la escasez energética, etc. y sus desmultiplicadas y concretas manifestaciones, constituirían buena prueba del continuo funcionamiento bajo el régimen de la amenaza y subsiguiente sacrificio en términos de víctimas del terrorismo, de la crisis económica, del sida etc. Lo importante, lo fundamental, es el mantenimiento de una dirección global para el colectivo social en forma de una dirección atractora que pueda desdoblarse en sucesivas, y nunca alcanzadas, metas desde las que proseguir el camino que aleje del mortalmente explosivo desenfreno de la violencia colectiva intestina. Este *atractor fractal* permanecería en el horizonte emergente del sirrema en cuestión, ajeno a la consciencia de su autoproducción por parte del colectivo que constituye la masa de fuga considerada, la condición fractal de tan genuino atractor posibilita su materializada concreción positiva en cualesquiera de las múltiples *líneas de fuga* que singularmente cabría contemplar en todo atractor fractal.

⁹ Sobre la noción de *homeorresis*, encontramos en Waddington (1976a: 30-31) una primera referencia a este concepto, en tanto que expresión desde la cual dar cuenta del mantenimiento constante de un modo de cambio a lo largo del tiempo, y no ya de un parámetro aislado, como es el caso de la homeostasis. Por lo demás, es a René Thom a quien Waddington acude para solicitarle una explicación matemática de esta idea que -el propio Waddington- considera formulable en términos de líneas atractoras. Tras una explicación matemática, René Thom concluye que: "*Este último ejemplo muestra claramente que la única noción importante en biología es la de homeorhesis[sic]; hay homeostasis sólo después de la detención definitiva del metabolismo, es decir, de la muerte virtual del ser vivo.*" (Thom, 1976a: 56).

Es de esta manera como las diversas *líneas de fuga* que sucesiva y simultáneamente emergen de la masa social y se ponen a disposición de los diferentes niveles de integración de la sociedad inmersa en la situación de crisis permanente, permite una mínima elección, según sea la particular pasión que a cada cual le anime, para seleccionar de entre alguna de las múltiples líneas particulares que nos invitan continuamente a salir de la crisis. Esta instalación de nuestras sociedades en la crisis permanente como modo de regulación de la cohesión social y gestión de la violencia colectiva latente ya fue, en su día, puesto de manifiesto cuando -en este caso Ibáñez- señaló que: "*Las sociedades históricas se alimentan de los peligros que las amenazan.*" (Ibáñez, 1979: 152). Por lo demás el manejo de estas líneas de fuga, que bien pueden considerarse como las trayectorias por las cuales se produce el desplazamiento de la violencia intestina de una sociedad hacia el exterior de la misma, se convierten en uno de los ejercicios más arriesgados de experimentación política que pueda acometerse en una colectividad humana cualquiera que pudiera ser la naturaleza de ésta última. Y es que, como escriben Deleuze y Guattari: "*Las líneas de fuga no consisten nunca en huir del mundo, sino más bien en hacer que ese mundo huya...*" (1988: 208).

CAPÍTULO X

LA EXPLOSIÓN DEL PÁNICO EN LA FIGURA DE

LA CATÁSTROFE

LA EXPLOSIÓN DEL PÁNICO EN LA FIGURA DE LA CATÁSTROFE

"En el pánico, el pasaje de lo individual a lo colectivo desemboca en cambios paradójicos. Por ejemplo, lo que aparecía como racional a un nivel deviene irracional en otro. Sin embargo, como en las situaciones críticas en física, la distinción misma de niveles deviene problemática: la pequeña fluctuación local transmite sus efectos al espacio global entero. Lo microscópico y lo macroscópico comunican instantáneamente." (Dupuy, 1991a: 14-15). He aquí, sin duda, uno de los temas recurrentes en toda teoría de la auto-organización: el pasaje de lo individual a lo colectivo, de lo local a lo global, en un instante. Un pasaje que siempre tiene lugar en situaciones de alta inestabilidad para el sistema en el que se produce y que requiere que se ocasione en él, una extremada *sensibilidad* entre los componentes del sistema complejo, sea cual fuere la particular clase a la que éste pertenezca, física, biológica o social. Esta sensibilidad es algo que se viene observando que ocurre en cualesquiera de las múltiples ocasiones de inestabilidad a las que puede verse sometido, en el transcurso de su existencia, el sistema complejo en cuestión; y ello, con independencia de si la ocasión de inestabilidad termina originando una situación crítica o una

situación catastrófica¹.

Y, sin embargo, hay una diferencia radical en el tipo de *instante* en que lo local comunica con lo global en la situación de crisis frente a la situación de catástrofe. Tanto es así que, si la pregunta definitoria de la situación de crisis habíamos convenido en resumirla en la expresión *¿qué va a pasar?*, la pregunta que definiría el instante catastrófico sería la del: *¿qué ha pasado?* En efecto, mientras que la *pregunta crítica* se refiere a una incertidumbre instantánea, que comunica globalmente a todos los individuos en un tiempo presente inmediatamente volcado hacia una lectura del futuro, la *pregunta catastrófica* remite a un instante presente que comunica conjuntamente a los individuos en una averiguación acerca de su inmediato pasado. En opinión de Deleuze y Guattari, ambas preguntas apuntarían a diferentes estilos literarios que se relacionan con sendas formas de la intriga: el *descubrimiento* y el *secreto*. Así, estos autores escriben que: "*La novela corta está relacionada fundamentalmente con un secreto (no con una materia o con un objeto del secreto que habría que descubrir, sino con la forma del secreto que permanece inaccesible), mientras que el cuento está relacionado con el*

¹ Esta extremada sensibilidad que se produce en todo sistema complejo en condiciones de inestabilidad es ilustrada, en el caso social por una referencia a Keynes, por parte de Dupuy, dice así: "*Sea una situación de "crisis" -no en el sentido estrictamente económico de este término, sino en el sentido más general de una pérdida del sentido común. Keynes, de hecho, no asume la lección que su juego sugiere, a saber que la especularidad de la crisis no desemboca sobre nada. Él muestra por el contrario que ella es finalmente instituyente de un nuevo orden convencional. Pero ella no adquiere esta productividad más que tomando una forma específica: la imitación. En una situación de incertidumbre radical, no probabilística, como la que prevalece en los mercados financieros cuando precisamente no proponen agentes de referencia común, la única conducta racional, según Keynes, es imitar a los otros. Una primera razón, de orden general, es que si yo no sé nada respecto a la situación en la que me encuentro (en situación de pánico, por ejemplo), yo puedo decirme que hay una oportunidad de que los otros sepan: imitándoles, obtendría partido de su saber: "Sabiendo que nuestro propio juicio está sin valor, nosotros nos esforzamos en ojear acerca del juicio del resto del mundo, que está quizá mejor informado. En otros términos, intentamos conformarnos al comportamiento mayoritario" (Keynes, 1937). Se ve aquí lo que diferencia la versión imitativa de la versión pura de nuestro juego especular (o, en este caso, especulativo): en este último, cada uno sabe que cada uno sabe que cada uno sabe etc., que todos están en la misma situación, es decir desprovistos de remedios comunes; en el primero, puede que todos estén en la misma situación, desprovistos de referencias comunes, pero no es cierto que cada uno lo sabe, menos aún que cada uno sabe que cada uno lo sabe, etc. Es esta duda, esta opacidad, aunque sea mínima, quien incitando a imitar, va a permitir a la especulación producir lo real."* (Dupuy, 1991a: 92-94).

descubrimiento (*la forma del descubrimiento, independientemente de lo que se pueda descubrir*).” (Deleuze y Guattari, 1988: 198).

Pues bien, la interpretación de ese tiempo presente potencialmente volcado en dos sentidos opuestos -pasado y futuro- permite distinguir, desde el punto de vista de la *violencia colectiva*, la particular posición de la sociedad que, inmersa en una situación altamente inestable, nos proporciona así la posibilidad de conocer el lugar en el que se encuentra respecto a su *punto de bifurcación*, traspasado el cual, el sistema social volverá a un nuevo período *metaestable*. De manera que, si la pregunta mediante la cual los individuos comunican con la globalidad -con la emergencia de significaciones colectivas- es la del ¿qué va a pasar?, entonces, el régimen de implosión del pánico continúa efectivo como modo de regulación de la violencia colectiva en la situación de inestabilidad. Puede decirse que el sistema se encuentra al *límite* de su capacidad de implosión, pero sin que aquél pueda llegar a *descubrir* cuál es exactamente ese límite. En este caso, la situación de inestabilidad en la que se encontraría la sociedad quedaría, entonces, representada en la figura de la *crisis*.

Por el contrario, si la pregunta con la que los individuos se conectan con lo global es la del ¿qué ha pasado?, puede afirmarse que la sociedad en su conjunto, no sólo es que haya rebasado su límite de capacidad implosiva del pánico, sino que se encuentra ante un nuevo *umbral* de regulación de la violencia colectiva. Inaccesible ya al *secreto* que le ha conducido hasta ese nuevo umbral, el sistema social se hallaría -en definitiva- ante una situación de inestabilidad reflejable en la figura de la *catástrofe*. A este respecto, la forma del secreto a la que hemos hecho referencia como característica del tipo de incertidumbre vinculada a la situación catastrófica -por incomprensible para sus partícipes-, es destacado por Girard, en forma de desconocimiento, cuando plantea la idea de la ignorancia del proceso de funcionamiento de la violencia colectiva desenfrenada, como requisito imprescindible de la cohesión

social: "*Los hombres no pueden enfrentarse a la insensata desnudez de su propia violencia sin correr el peligro de abandonarse a esta violencia; siempre la han ignorado, al menos parcialmente, y pudiera muy bien ser que la posibilidad de sociedades humanas dependiera de este desconocimiento.*" (Girard, 1983: 90-91).

En fin, la situación inestable catastrófica significará, necesariamente, que el pánico ha explotado, que se ha expandido rápida, enérgica y velozmente, por el sistema social considerado. De tal manera que *la información sobre la violencia*, la manera más suave de regular la violencia colectiva mediante la lenta y paulatina dosificación de la misma, ha visto rebasados sus límites. En términos girardianos diríamos que el *dispositivo ritual de contención* ha sucumbido². Podemos decir entonces, que la violencia

² A este respecto, conviene señalar que el sacrificio ritual al que hace referencia Girard, sería equivalente -en nuestro esquema- a las sucesivas y diarias dosis informativas que, acerca de acontecimientos y sucesos violentos, los medios de comunicación de masas continuamente transmiten. En la hipótesis girardiana, esta idea se expresaría así: "*La violencia original es única y espontánea. Los sacrificios rituales, por el contrario, son múltiples; se repiten hasta la saciedad. Todo lo que escapa a los hombres en la violencia fundadora, el lugar y la hora de la inmolación, la elección de la víctima, es determinado por los propios hombres en el sacrificio. La empresa ritual tiende a regular lo que escapa a toda regla; intenta realmente sacar de la violencia fundadora una especie de técnica del apaciguamiento catártico. La virtud menor del sacrificio ritual no constituye necesariamente una imperfección. El rito está llamado a funcionar al margen de los períodos de crisis aguda; desempeñan un papel que, como hemos visto, no es curativo, sino preventivo. Si fuera más "eficaz" de lo que es, esto es, si no eligiera sus víctimas en unas categorías sacrificables, generalmente exteriores a la comunidad, si también él eligiera, al igual que la violencia fundadora, un miembro de esta comunidad, perdería toda su eficacia, provocaría lo que tiene por función impedir: una recalda en la crisis sacrificial. El sacrificio está tan adaptado a su función normal como el homicidio colectivo a su función a un tiempo anormal y normativa. Hay todos los motivos para suponer que la catarsis menor del sacrificio deriva de la catarsis mayor definida por el homicidio colectivo.*"

El sacrificio ritual está basado en una doble sustitución; la primera, la que jamás se percibe, es la sustitución de todos los miembros de la comunidad por uno solo; se basa en el mecanismo de la víctima propiciatoria. La segunda, única exactamente ritual, se superpone a la primera; sustituye la víctima original por una víctima perteneciente a una categoría sacrificable. La víctima propiciatoria es interior a la comunidad, pero la víctima ritual es exterior, y es preciso que lo sea puesto que el mecanismo de la unanimidad no juega automáticamente en favor suyo.

¿Cómo se inserta la segunda sustitución sobre la primera? ¿Cómo la violencia fundadora consigue imprimir al rito una fuerza centrífuga? ¿Cómo llega a establecerse la técnica sacrificial? Son unas preguntas a las que intentaremos responder más adelante. Pero ya ahora, sin embargo, podemos reconocer el carácter básicamente mimético del sacrificio en relación a la violencia fundadora. [...].

No cabe duda de que el rito es violento, pero siempre es una violencia menor que sirve de barrera a una violencia peor; siempre intenta enlazar con la mayor paz que pueda conocer la comunidad, aquella que, después del homicidio, resulta de la unanimidad en torno a la víctima propiciatoria. Disipar los miasmas

colectiva, en tanto que forma por excelencia de la perturbación energéticamente más poderosa que puede circular por un sistema social, ha fluido por todo el sistema indiscriminadamente, como si de un espacio liso se tratase. Este proceso de *explosión pánica* es equivalente a lo que Girard denomina como *crisis sacrificial*, y constituye todo un modelo y teoría del proceso morfogenético de lo social. En lo que sigue, combinaremos las reflexiones de Girard y Canetti con los esquemas propios de Prigogine, compartiendo, en este sentido, el análisis de Dupuy, de acuerdo con el cual: "*La entrada en pánico es como una transición de fase. Las reflexiones que he presentado resuenan con los desarrollos contemporáneos de la teoría de sistemas dinámicos, de la termodinámica del no-equilibrio, de la física de los sistemas desordenados.*" (1991a: 74-75).

De este modo, la *violencia* que late en toda sociedad humana y que se esparce y multiplica en la denominada crisis sacrificial actúa, a nuestro juicio, de la misma manera que lo hace la *energía* que circula por un sistema alejado del equilibrio termodinámico. Una energía que el sistema debe disipar para alcanzar la estabilidad que el segundo principio de la termodinámica impone a todo sistema: conseguir el estado de equilibrio termodinámico. Y, sin embargo, paradójicamente, la misma energía que debe disipar, la energía que no le permite alcanzar el equilibrio es, justamente, la misma que consigue alimentar y estructurar un orden que procede de las fluctuaciones, de las pequeñas perturbaciones que, amplificadas, gobiernan la actividad del sistema alejado del equilibrio termodinámico para acercarse con mayor rapidez a ese mismo *estado de equilibrio* en el que reina el desorden.

Es decir, la misma energía que perturba el estado de equilibrio

maléficos que siguen acumulándose en la comunidad y recuperar la frescura de los orígenes equivale a lo mismo. Que reine el orden o que ya esté turbado, siempre conviene referirse al mismo modelo, siempre hay que repetir el mismo esquema, el de toda crisis victoriosamente superada, la violencia unánime contra la víctima propiciatoria." (Girard, 1983: 110-111).

termodinámico es la que, sobrepasado un cierto límite, permite la estructuración del sistema de acuerdo con un *régimen disipativo* de esa misma energía. De igual modo, la violencia que sacude a un sistema y le aparta de su situación metaestable, es la que le permite alcanzar al sistema social un nuevo orden regulador de esa misma violencia: violencia desestabilizadora y violencia unificadora coinciden en la situación de catástrofe. Como el propio Girard pone de manifiesto en el ámbito de lo social, en la situación de crisis sacrificial: "*En el momento supremo de la crisis, cuando la violencia recíproca, llegada a su paroxismo, se transforma de repente en unanimidad pacificadora, las dos caras de la violencia parecen yuxtapuestas: los dos extremos se tocan.*" (1983: 94).

Ese punto en el que la implosión del pánico alcanza la dimensión crítica que hace que el proceso de contención y regulación de la violencia colectiva deje de ser efectivo y se desencadene, por tanto, lo que Girard denomina como la crisis sacrificial, resulta impredecible para los participantes en la misma. Es decir, la singular especificación de la perturbación violenta, de las muchas que recorren el sistema, que hará estallar la violencia desenfrenada entre los componentes del mismo, permanece fuera de toda previsión determinista. En la *situación de alta inestabilidad*, el más mínimo cálculo determinista requeriría ingentes cantidades de información para la delimitación concreta de la fluctuación virtualmente exitosa en cuanto a su efecto desencadenante de la violencia colectiva desenfrenada que invadiría la escena en la que se desarrollaría la crisis sacrificial. Y, sin embargo, podemos conocer el proceso que estructura la salida de esa situación de violencia colectiva desenfrenada: el *mecanismo de la víctima propiciatoria*. La persecución y caza del chivo expiatorio, si se prefiere decirlo así, la búsqueda de un responsable sobre el que polarizar y liberar toda la carga de violencia

que se expande y fluye por el conjunto de la comunidad³.

Es aquí donde el proceso de búsqueda y caza de la víctima propiciatoria adquiere, a nuestro juicio, una *forma social auto-organizada* muy primitiva, muy básica, y precisamente por ello, no menos fundamental: la *muta*. Si en el capítulo anterior hemos tenido ocasión de presentar a la masa como la forma social por excelencia de las situaciones de crisis, y, en este sentido, podría considerársela como la expresión más extensa de la multiplicidad social que huye. La muta aparecería aquí como la forma social representativa de las *situaciones de catástrofe*, de las situaciones de cambio radical en las

³ Este mecanismo de la víctima propiciatoria, que tiene su base en la existencia de comportamientos miméticos, es explícitamente valorado por Girard como el único que es capaz de garantizar espontáneamente la unanimidad de cualquier comunidad contra la víctima propiciatoria, con cuya inmolación, la violencia colectiva que se derrama por toda la comunidad cesará, para converger sobre esa víctima. El mecanismo victimario es descrito por Girard del siguiente modo: "*Si la violencia uniforme a los hombres, si cada cual se convierte en el doble o en el "gemelo" de su antagonista, si todos los dobles son idénticos, cualquiera de ellos puede convertirse, en cualquier momento, en el doble de todos los demás, es decir, en el objeto de una fascinación y de un odio universales.*

Una sola víctima puede sustituir a todas las víctimas potenciales, a todos los hermanos enemigos que cada cual se esfuerza en expulsar, esto es, en todos los hombres sin excepción, en el interior de la comunidad. Para que la sospecha de cada cual contra todos los demás se convierta en la convicción de todos contra uno solo, no hace falta nada o muy poco. El indicio más ridículo, la más ínfima presunción, se comunicará de unos a otros a una velocidad vertiginosa y se convertirá casi instantáneamente en una prueba irrefutable. La convicción tiene un efecto acumulativo, y cada cual deduce la suya de la de los demás bajo el efecto de una mimesis casi instantánea. La firme creencia de todos no exige otra comprobación que la unanimidad irresistible de su propia sinrazón.

La universalización de los dobles, la completa desaparición de las diferencias que exaspera los odios, pero, a la vez, los hace completamente intercambiables, constituye la condición necesaria y suficiente de la unanimidad violenta. Para que el orden pueda renacer, es preciso que el desorden llegue a su punto máximo; para que los mitos puedan recomponerse, es preciso que estén enteramente descompuestos.

Allí donde unos instantes antes había mil conflictos particulares, mil parejas de hermanos enemigos aislados entre sí, existe de nuevo una comunidad, enteramente unánime en el odio que le inspira uno solo de sus miembros. Todos los rencores dispersos en mil individuos diferentes, todos los odios divergentes, convergerán a partir de ahora en un individuo único, la víctima propiciatoria.

La dirección general de la presente hipótesis parece clara. Cualquier comunidad víctima de la violencia o agobiada por algún desastre se entrega gustosamente a una caza ciega del "chivo expiatorio". Instintivamente, se busca un remedio inmediato y violento a la violencia insoportable. Los hombres quieren convencerse de que sus males dependen de un responsable único del cual será fácil desembarazarse.

Pensamos inmediatamente, en este caso, en las formas de violencias colectivas que se desencadenan espontáneamente en las comunidades en crisis, en los fenómenos del tipo linchamiento, pogrom, "justicia expeditiva", etcétera." (Girard, 1983: 87-88).

condiciones de regulación de la cohesión social mediante la violencia. Es en este sentido, pues, que la muta será mostrada -coherentemente con nuestro esquema- como la expresión más intensa de la multiplicidad social que persigue. Paralelamente, si era la amenaza -amenaza de muerte, en última instancia- la forma que adquiriría la proyección y emergencia del proceso de histéresis socialmente vinculado a la masa, es la *promesa* de captura -y eventual muerte- de la presa quien aparece en el horizonte significativo que engloba y emerge para la muta, y por causa de la muta, en la situación de catástrofe.

X.1. LA MUTA COMO ANALIZADOR MOLECULAR DE LA CATÁSTROFE.

Esta guerra de todos contra todos que se produce en la crisis sacrificial, en el punto álgido de la catástrofe, presenta dos características que ya fueron señas por Canetti como causa de la alta tensión propia de los sucesos bélicos: *querer adelantarse a la muerte y actuar en masa*. Ambas determinaciones, como decimos, se encuentran en la crisis sacrificial y constituyen -a nuestro juicio- dos propiedades fundamentales que se ansía en las *mutas*. Pero, ¿qué es una muta? Para Canetti, la muta consiste originariamente en una jauría de entre diez a veinte hombres que toma su modelo de formación y actuación de la manada de lobos en situación de caza. Sobre ella, realiza Canetti una observación que hace particularmente interesante esta multiplicidad social para una visión dinámica de la morfogénesis de lo social, dice así: "*Aquí a todo lo que suele designarse por tribu, linaje o clan, se le opone otra unidad: la muta. Aquellos conocidos conceptos sociológicos, por muy importantes que sean tienen todos algo de estático. Por el contrario, la muta es una unidad de la acción, y aparece de manera concreta. De ella debe partir quien desee explorar los orígenes del*

comportamiento de masas." (Canetti, 1983: 90).

En efecto, la capacidad que muestra la muta para desencadenar masas, para *nuclear* en torno a sí, a más y más individuos, le viene del hecho de que: "*La muta consiste en un grupo de hombres excitados que nada desean con mayor vehemencia que ser más.*" (Canetti, 1983: 89). Toda actividad que emprende la muta siempre le iría mejor si fuesen más, la *caza*, la *guerra*, la *lamentación* y la *multiplicación* en sí misma, constituyen los nombres particulares que distinguen las diferentes clases de mutas y de las cuales se hace preciso subrayar el rasgo de su *mutabilidad*, es decir, de su aptitud para transformarse y convertirse de unas en otras. Pero, como decimos, es su potencial para desencadenar masas el que, no en vano, les hace colocarse como antecedente histórico del conocido como *cristal de masa*, es decir, el núcleo permanente y duradero de un grupo de hombres que, incluso dentro de una masa en plena agitación, puede decirse que "*... nunca perderá totalmente el sentimiento de su singularidad y tras la desintegración de la masa volverá a reunirse de inmediato.*" (Canetti, 1983: 69)⁴.

Esta reflexión es la que nos ha hecho considerar a la muta como un *elemento rebelde* respecto a la masa, cuya globalidad -la de la masa- cabría definirla como un *conjunto anormal*. Entendiendo estas categorías, en el

⁴ Respecto al cristal de masa, Canetti efectúa la siguiente definición: "*Por cristales de masa designo pequeños y rígidos grupos de hombres, fijamente limitados y de gran constancia, que sirven para desencadenar masas. Es importante que estos grupos sean fácilmente controlables, que se les abarque de una ojeada. Su unidad es mucho más importante que su tamaño. Su función debe ser familiar; es preciso saber para qué están. Una duda respecto a su función les privaría de todo sentido; lo mejor es que siempre se mantengan iguales a sí mismos. No han de ser confundidos. Un uniforme o un determinado local de ejecuciones les resulta muy conveniente. El cristal de masas es duradero. Nunca varía de tamaño. Sus integrantes han sido enseñados para su quehacer o convicción. Pueden tener funciones repartidas como en una orquesta, pero es importante que se manifiesten como una totalidad. Quien los ve o los vive debe sentir, ante todo, que nunca se desintegrarán. Su vida fuera del cristal no cuenta. Incluso cuando se trate de una profesión, como el caso del músico de orquesta, nunca se pensará en su existencia privada: ellos son la orquesta. En otros casos están uniformados, sólo así se los ve juntos. Se convierten en hombres muy distintos cuando dejan el uniforme. Soldados y monjes pueden ser considerados como la forma más importante de esta especie.*" (1983: 69).

sentido en que las define Deleuze, es decir, el elemento rebelde es aquél que forma parte de un conjunto cuya existencia presupone y el conjunto anormal sería, por su parte, aquél que no tiene elementos⁵. A este respecto, puede decirse que la masa considerada como conjunto matemático sería anormal, pues no podría ser definido por sus elementos. La masa constituye -para nosotros- lo que aquí venimos denominando como una *multiplicidad social*, es decir, una unidad paradójicamente colectiva. Tiene, por tanto, una naturaleza que va más allá de la mera reunión de individuos, posee una entidad y unas características propias que nos hacen referirnos, únicamente a ella misma, para explicar sus propiedades. La *muta*, de modo equivalente, también presenta una realidad genuina, no reducible ni a la multiplicidad social que entendemos por grupo, ni a la familia, ni a la tribu, etcétera. Constituye, por consiguiente, una *multiplicidad social concreta en acción*.

Es así que, tanto la masa como la muta, conforman unas multiplicidades sociales no descomponibles ni en individuos (que en el plano metodológico de la investigación social podrían ser investigados mediante la perspectiva distributiva) ni en grupos (que podrían ser investigados mediante la perspectiva estructural). A nuestro juicio, nos encontramos con el referente de lo social, más apropiado para la aplicación de la *perspectiva dialéctica* de la que hablaba Ibáñez, en la cual, el *socioanálisis* se configuraba como la técnica de investigación más adecuada. Por consiguiente, con la muta, como con la masa, encontramos el *analizador social* genuino e integrado, propio de las situaciones de alta inestabilidad social y/o política definidas como catástrofes y crisis, respectivamente. De tal modo que, si la masa nos proporcionaba el ejemplo de la multiplicidad social constituida bajo el supuesto de la amenaza y consiguiente huida, la muta representa la multiplicidad social conformada sobre la *promesa* -de la caza, de la victoria, de la muerte, de la

⁵ En efecto, es Deleuze quien, en su *Lógica del Sentido*, nos presenta estas dos ideas paradójicas de *conjunto anormal* y *elemento rebelde*. Véase sobre este particular: Deleuze, 1989a: 92.

multiplicación- y consiguiente *aproximación* -a la presa, al enemigo, a la víctima, a ser más-.

Ahora bien, aproximación y huida constituyen dos comportamientos básicos de supervivencia, intensiva y extensivamente, desarrollados colectivamente por la muta y la masa, respectivamente. ¿De dónde extraer un valor analítico, en términos de conocimiento, a sendos comportamientos? ¿Por qué considerar que despliegan una competencia analítica o cognitiva de la situación en la que se producen? Para resolver esta cuestión nos remontaremos a los trabajos realizados en el *Biological Computer Laboratory*. Y es que, en efecto, uno de los éxitos más provechosos de cuantos en este Centro se realizaron, lo constituye su valoración de la *actividad cognitiva* como un proceso que emerge de una *estructura de movimiento*, y en este sentido tanto la masa como la muta, en cuanto que movimientos colectivos, puede decirse de ellos que analizan sus entornos en términos de huida o aproximación. Como apunta Lévy: "... Von Foerster afirma que toda *conceptualización de descripciones (representaciones internas) del entorno emerge de una conceptualización de movimientos potenciales*." (1985d: 176).

Por consiguiente, el carácter de *analizador molecular* que otorgamos a la *muta* -decimos molecular por la intensidad de sus nexos de unión y el menor tamaño que ésta presenta frente a la masa- se muestra complementario y distinto del de analizador molar que constituye la masa, no sólo por las características señaladas sino por el diferente análisis de la situación vinculado a los comportamientos básicos de supervivencia, implicados en ambas formaciones sociales. En este sentido, la definición del socioanálisis como *análisis en situación* es coherente con la selección de la masa y de la muta como analizadores sociales de las situaciones de crisis y de catástrofe. De manera que, el movimiento que despliega la muta en términos de aproximación, equivale a toda una manifestación de comportamiento colectivo básico, estructurado en la forma genérica de la situación altamente inestable

denominada *catástrofe*. Pero, al igual que de los diferentes tipos de masa que pueden considerarse, seleccionamos finalmente aquélla que más extensivamente desplegaba las características significativas de la huída -la *masa de fuga*-, de las distintas clases de mutas existentes emplearemos la que más intensivamente desarrolla el comportamiento de aproximación, es decir, la *muta de caza*⁶.

En la muta de caza, la aproximación es intensivamente desplegada en la forma de la *persecución*. La muta es, en este sentido, la multiplicidad social en la que mejor se vertebra el comportamiento colectivo correspondiente con la explosión pánica, esto es, con la súbita e intensa manifestación de la violencia colectiva. En nuestro caso particular, y siguiendo la hipótesis girardiana, esa explosión de violencia permite cohesionar al colectivo afectado, siempre y cuando encuentre un punto sobre el que focalizar, polarizar y descargar toda la violencia que, peligrosamente, fluye entre los

⁶ En efecto, como escribe Canetti: "La muta aparece siempre bajo cuatro diferentes formas o funciones. Todas ellas son fluidas y se pasa con facilidad de unas a otras, pero es importante, ante todo, definir por una vez en qué se diferencian. La muta más natural y auténtica es aquella de la que deriva nuestra palabra: la de la caza. Se constituye en todas partes donde se trata de ir contra un peligroso o potente animal que el ser individual difícilmente puede apresar; y se constituye también donde se avista una presa de la que uno quiere perderse lo menos posible. [...].

La segunda forma de muta, que tiene bastante en común con la muta de caza y que está ligada a ella en muchos aspectos, es la muta de guerra. Ésta presupone una segunda muta de hombres, a la que se ataca, que posee una vivencia como tal, aunque por el momento no exista para nada. En su forma más precoz persigue a menudo una sola víctima de la que ha de tomar venganza. En la determinación de lo que ha de ser muerto, se aproxima en especial a la muta de caza.

La tercera forma es la muta de lamentación. Se constituye cuando un miembro del grupo les es arrebatado por la muerte. El grupo que es pequeño y acusa toda pérdida como irremplazable, para esta ocasión se reúne en muta. Puede que le importe retener al moribundo; arrancarle tanta fuerza vital como pueda incorporar a sí misma antes que se le escurra por entero; puede que desee apaciguar su alma para que no se haga enemiga de los vivos. En todo caso, una acción le parece necesaria y en ninguna parte hay hombres que renuncien por completo a ella.

En un cuarto punto resumo una multiplicidad de fenómenos a los que, no obstante toda su diversidad, les es común una cosa: la intención de multiplicación. Mutas de multiplicación se forman porque el grupo mismo o las criaturas con las que está vinculado, animales o plantas, han de hacerse más. Con frecuencia se las representa en forma de danzas a las que se atribuye determinado sentido mítico. También a ellas se las conoce en todas partes donde viven juntos seres humanos. Aparecen siempre que el grupo no está satisfecho de su tamaño. Una de las propiedades esenciales de la masa moderna, la pulsión a incrementarse, se manifiesta, pues, ya muy pronto en mutas que en sí aún no pueden crecer del todo." (1983: 91-92).

miembros de la comunidad en la situación de crisis sacrificial -en términos girardianos- o de explosión pánica -en nuestro propio esquema-. La víctima propiciatoria, el responsable o la *presa*, no serían más que diferentes nombres con los que cabe designar ese *punto fijo endógeno* por el cual se genera la forma colectiva denominada *muta*. Como señala Canetti: "... *la presa, y sólo ella, con su comportamiento, su especificidad -viva o muerta- determina con precisión el comportamiento de la muta que debido a ella se constituye.*" (1983: 91).

La capacidad de nuclear en torno a sí a muchos individuos, durante la explosión pánica, le vendrá dada a la muta -a nuestro juicio- por dos características que esta forma social comparte con la masa: la *igualdad* y la *direccionalidad*. Así, como señala Canetti: "*De las cuatro propiedades esenciales de la masa, según hemos visto, dos son ficticias en la muta, es decir, se las anhela y se las hace actuar con el mayor énfasis; las otras dos en cambio, existen con tanto mayor vigor en la realidad. Crecimiento y densidad son ficticios; igualdad y direccionalidad existen.*" (1983: 89). De manera que, la explicación del paso de una muta de caza a toda una masa de acoso por efecto de la amplificación rápida de un proceso de nucleación en torno a un punto fijo endógeno, será lo que nos propongamos explicar por la coincidencia de las características de direccionalidad e igualdad que comparten masa y muta, en tanto que comportamientos colectivos propios de situaciones de alta inestabilidad⁷.

⁷ Tanto la masa de fuga -estudiada como formación social significativa de la situación de crisis latente- como la *masa de acoso* -más arriba señalada- constituyen para Canetti las dos formas de masa más antiguas que se conocen, y se dan tanto entre animales como entre los hombres. La masa de acoso actúa en un contexto del que no debe dejar de señalarse su resonancia con la *crisis sacrificial* girardiana. Sobre la masa de acoso cuyo origen se remonta a la muta de caza, Canetti señala lo siguiente: "*La masa de acoso se constituye teniendo como finalidad la consecución de una meta con toda rapidez. Le es conocida y está señalada con precisión; además se encuentra próxima. Sale a matar y sabe a quién matar. Con una decisión sin parangón avanza hacia la meta; es imposible privarla de ella. Basta dar a conocer tal meta, basta comunicar quién debe morir, para que la masa se forme. La concentración para matar es de índole particular y no hay ninguna que la supere en intensidad. Cada cual quiere participar en ello, cada cual golpea. Para poder asestar su golpe cada cual se abre paso hasta las proximidades*

La explicación de este pasaje *de lo local* -la muta de caza- *a lo global* -la masa de acoso- constituye un problema que nos permitirá entender, igualmente, la transición *de la crisis a la catástrofe*. Como habíamos señalado en el capítulo anterior, la paulatina implosión de pánico en una población tenía por efecto, someter a ésta a una situación de permanente amenaza, que garantizaría su cohesión social en forma de masa de fuga. El límite de implosión pánica en la población sería puesto de manifiesto por el *movimiento de masas*, comportamiento que cabría calificar como de *catástrofe virtual*, es decir, que se trataría de un comportamiento en el que la más mínima perturbación violenta podría generar un cambio radical en el régimen de regulación de la violencia colectiva. Con el movimiento de masas, cuantos manejan los atractores fractales que desvían hacia el exterior la violencia intestina, se encuentran en una situación de potencial inversión de la situación, es decir, de que las amenazas se vuelvan y *deriven* en ellos.

Pues bien, si la *direccionalidad* que caracteriza el tipo de persecución que desarrolla la muta, consigue seleccionar una presa -punto fijo endógeno que constituye la muta de caza- que logre conectar con el punto fijo que mantiene a la masa en fuga en un instante preciso, entonces, la perturbación violenta que supone para el sistema la persecución del que hasta ese momento era el punto fijo endógeno de la masa, puede hacer que la masa de

inmediatas de la víctima. Si no puede golpear, quiere ver cómo golpean los demás. Todos los brazos salen como de una y la misma criatura. Pero los brazos que golpean, tienen más valor y más peso. La meta lo es todo. La víctima es la meta, pero también el punto de la máxima densidad: reúne las acciones de todos en sí misma. Meta y densidad coinciden.

Razón importante del rápido crecimiento de la masa de acoso es la ausencia de peligro de la empresa. No hay peligro pues la superioridad del lado de la masa es total. La víctima nada puede hacer. Huye o perece. No puede golpear, en su impotencia es tan sólo víctima. Pero también ha sido entregada a su perdición. Está destinada, nadie ha de temer sanción por su muerte. El asesinato permitido reemplaza a todos los asesinatos de los que uno debe abstenerse y por cuya ejecución han de temerse duras penas. Un asesinato sin riesgo, permitido, recomendado y compartido con muchos otros implica una sensación irresistible para la gran mayoría de los hombres. Sobre esto cabe decir que la amenaza de muerte que pende sobre todos los hombres y que bajo diferentes disfraces está siempre activa, aunque nos enfrentemos con ella continuamente, hace necesaria una derivación de la muerte sobre otros. La formación de masas de acoso responde a esta necesidad." (Canetti, 1983: 43-44).

fuga se invierta y transforme en masa de acoso por amplificación -*densidad* y *crecimiento*- de la muta de caza. La *igualdad* que caracteriza a los miembros de la masa como a los de la muta hace que este hecho no se vea como algo extraño o ajeno al propio movimiento colectivo de persecución, el cual pasa a ser -por un tiempo breve- el punto fijo endógeno. Esta situación requiere, como se ha señalado, unas condiciones de catástrofe virtual, es decir, una situación en la que el dispositivo de implosión pánica se encuentre al límite en el sistema social considerado.

En una situación de catástrofe virtual, sólo el cambio radical en el régimen de gestión de la información sobre la violencia colectiva, puede hacer superar la situación de catástrofe virtual para llegar a la situación de crisis y, eventualmente con posterioridad, conducir el sistema hacia un estado metaestable. La superación de la catástrofe virtual proviene del adelantamiento "controlado" de las condiciones que enmarcan una situación de catástrofe, es decir, del cambio del dispositivo de regulación de la violencia colectiva mediante amenazas, por un *dispositivo de regulación de la violencia a través de promesas*. Como siempre, la correcta dosificación de este dispositivo permitirá reforzar la cohesión social sin que se materialice una sensación de debilidad que catalizaría, por contra, una situación de catástrofe y persecución -por consiguiente- del punto fijo endógeno, considerado como responsable de la situación.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

A lo largo de las páginas que componen la presente tesis doctoral hemos tenido oportunidad de conocer algunas de las más importantes teorías de la auto-organización producidas en el campo, cada vez más amplio, de las llamadas ciencias de la complejidad. En concreto, hemos analizado, desde una *perspectiva transdisciplinar*, las teorías de la auto-organización enmarcadas en el conocido como paradigma del orden a través del desorden. En este sentido, merece destacarse que apenas si nos hemos referido a la auto-organización desde su configuración en el paradigma denominado como de la autopoiesis. Ciertamente, la altura intelectual de los autores de este último paradigma, Humberto Maturana y Francisco Varela, así como la específica difusión que han tenido sus teorías en el ámbito de la sociología, exigen que -al menos aquí- se exprese la razón de su no inclusión. A este respecto, cabría decir que la existencia de un menor conocimiento, en el ámbito de la sociología, del paradigma del orden a través del desorden sería suficiente motivo para justificar la dedicación de cualquier joven investigador a esta tarea.

Ello no obstante, la valoración de un segundo argumento ha sido decisiva para optar por el estudio de *la auto-organización en el paradigma del orden a través del desorden* como temática doctoral. Sobre este particular, debemos señalar que la incipiente aplicación a las ciencias sociales de algunos

de los postulados contenidos en este paradigma, nos ha hecho considerar urgente, la necesidad de presentar un análisis más pormenorizado de las implicaciones del mismo. Por tanto, nuestro análisis se ha centrado, como decimos, en las teorías de la auto-organización vinculadas al paradigma del orden a través del desorden; dentro de éste, *Ilya Prigogine* en las ciencias de la materia y *Henri Atlan* en las ciencias de lo vivo, constituyen referencias inexcusables para el buen entendimiento del mismo. Por lo que a la sociología se refiere, del mismo modo que Niklas Luhmann es presentado en nuestros días como el sociólogo de la autopoiesis, cabría citar a *Jean-Pierre Dupuy* como su homólogo en el paradigma del orden a través del desorden. Por lo demás, nos hemos tomado la libertad de realizar un mínimo avance con la exposición estratégica de dos situaciones de alta inestabilidad social y política como son las crisis y las catástrofes, destacando su valor auto-organizador en la formación de dos comportamientos colectivos conocidos, como son los de la masa y la muta, respectivamente. Pero, hechas ya las aclaraciones iniciales, pasemos a conocer las conclusiones más importantes que se derivan del presente estudio.

1. La *transdisciplinariedad* constituye el rasgo más característico de las teorías de la auto-organización desde los orígenes de éstas allá por los años sesenta. Puede afirmarse, sin lugar a dudas, que las teorías de la auto-organización representan uno de los intentos más serios de sincronización conceptual emprendidos por la ciencia de la segunda mitad de nuestro siglo. En concreto, las referencias a esta temática provienen de las áreas científicas más fronterizas de cada una de las disciplinas matrices. Así ocurre con la termodinámica de los procesos irreversibles en el caso de la física, con la biofísica en el caso de la biología, o con la epistemología natural y experimental en el caso de la neurofisiología. Todo lo cual, no hace sino

reiterar una realidad, en la concepción de los límites interdisciplinarios, que debiera hacernos reflexionar acerca del papel de encuentro e intercambio que poseen estos lugares en la actualidad, frente a una visión más difundida y tradicional que los encuadra -probablemente de modo desacertado- como espacios de separación y eventual enfrentamiento. ¿Qué hay detrás de todo este planteamiento transdisciplinar, de todos esos conceptos nómadas que están atravesando los márgenes habitualmente establecidos entre las ciencias? Existe, sencillamente, un nuevo planteamiento científico global, una inédita cosmovisión a la que se ha llegado tras comprobarse las limitaciones metodológicas y epistemológicas que la ciencia clásica, asumía como guías de su propia labor investigadora. Es, por lo demás, en torno al estudio de problemas concretos, donde los científicos se muestran más capaces de manifestarse abiertos al uso de terminologías y teorías, originalmente ajenas a sus disciplinas de procedencia.

2. La investigación sobre *la génesis del concepto de auto-organización* revela que tuvo su origen en los trabajos de Gordon Pask desarrollados en el Biological Computer Laboratory (B.C.L.), para la formulación de una teoría del aprendizaje como proceso diferenciado respecto del fenómeno, más simple, de la adaptación. No obstante, pese a que la auto-organización figuraría como uno de los objetivos y ambiciones del B.C.L. -dirigido por von Foerster en la Universidad de Illinois- lo cierto es que, de la lectura de los informes de investigación correspondientes a esta temática, se desprende que no sólo no era éste el principal asunto que preocupaba a los investigadores, sino que faltaba lo que caracterizaría a un verdadero proceso de seguimiento y tratamiento de un problema abierto: la paulatina toma de consistencia del asunto en cuestión. Con todo, el concepto de auto-organización aportaría al B.C.L. algo más, particularmente de cara a la propia diferenciación interna de los cibernetas como partícipes de una de las divisiones que, posteriormente, más afortunada ha resultado ser: la distinción entre *primera* y *segunda cibernética*. Así, mientras que en la primera cibernética, también conocida

como cibernética de los sistemas observados o de primer orden, la auto-organización aparece como si de un asunto de carácter lógico propiamente se tratase; en la segunda cibernética, o cibernética de los sistemas observadores, la auto-organización se mostraría como una propiedad relacional que se produciría en la interacción de sistemas observadores entre sí.

3. Para la ciencia clásica, que ha tenido como referente genérico a la física y dentro de ésta a la dinámica, el conocimiento y comprensión total de su objeto de investigación suponía la capacidad del científico de predecir con certeza y precisión, la situación de su objeto tanto en el pasado como en el futuro, con sólo conocer la definición de uno de los estados del objeto considerado y la ley que rige su evolución. No muy lejana a esta concepción, en el concreto ámbito de nuestro trabajo sociológico, la estructura social como vertiente descriptiva de una sociedad y el cambio social como búsqueda de las leyes que dirigen su evolución, se muestran deudoras de esta particular epistemología, vertebradora de los últimos siglos de historia de la ciencia. Pues bien, esta estrategia global que preside la ciencia clásica, y que puede encuadrarse en el principio de razón suficiente, ha significado: en primer lugar, la independencia del objeto respecto a quien le observa; en segundo lugar, la igualdad entre causa y efecto, lo que implicaba que nada pertinente para la definición del objeto y su posterior comportamiento o evolución, se dejaba escapar. Ahora bien, tanto la noción de *inestabilidad* -que se encuentra en la base de los comportamientos caóticos- como la noción de *suceso* -originaria de la mecánica cuántica-, han constituido un revulsivo trascendental para las descripciones efectuadas en términos clásicos, los cuales dejan de representar, en adelante, el ideal de conocimiento para el conjunto de la ciencia. Con la termodinámica de los procesos irreversibles nos encontramos con una teoría física que, frente a la clásica concepción dinámica, no sólo nos permite desvelar los problemas ligados a la creatividad en la naturaleza, sino que, más ampliamente, nos descubre que se está produciendo un acercamiento de los postulados de la llamada primera ciencia de lo complejo,

la termodinámica, a aquellos aspectos tradicionalmente más vinculados y distintivos de las ciencias sociales y humanas: la *historia* y la *complejidad*.

4. El problema de la *morfogénesis*, de la creatividad, de la aparición de la novedad, ha sido y es un tema profundamente ligado a la propia historia de la ciencia. El origen de la materia, el de la vida y el de lo social, no han dejado de preocupar a los científicos de cada una de las disciplinas que se han ido constituyendo, progresivamente, alrededor de estas problemáticas. De hecho, en las sucesivas y diferentes épocas del desarrollo disciplinario científico, puede afirmarse que era en torno a estos problemas donde se debatían -en última instancia- todas aquellas teorías que pugnaban y competían, por configurarse como referencia paradigmática de sus respectivas disciplinas. La sugestiva pregunta por la posibilidad de trasvase de conocimientos y modelos teóricos de una ciencia a otra, no sólo tenía lugar en la confrontación epistemológica, sino que en el trabajo científico más cotidiano -menos filosófico, si se quiere decirlo así- la pregunta por el origen, constituía el punto de referencia crucial en el que los científicos, desde sus respectivas disciplinas, más dispuestos se encontraban para el diálogo. En nuestra tesis doctoral, si el paradigma del *orden a través del desorden* es denominado como tal, es porque como su propio nombre indica, está postulando un modelo morfogenético que va más allá de las particulares teorías que lo desarrollan, y en cuyos ámbitos respectivos muestran su poder explicativo. A la luz de este paradigma, conceptos legendariamente dotados de un papel negativo por parte de la ciencia clásica -tales como la *entropía*, el *azar* y la *violencia*- parecen colocarse, en nuestros días, en el siempre problemático lugar, del origen del orden en las ciencias de la materia, en las de la vida y en las de lo social.

5. La *auto-organización*, en consonancia con las teorías aquí consideradas, puede ser definida como un proceso de emergencia de comportamientos colectivos coherentes, como resultado de la acción aleatoria

de perturbaciones sobre un sistema complejo. De acuerdo con estas mismas teorías, el proceso de auto-organización ha supuesto, en todos los casos estudiados, el pasaje de un comportamiento local a un comportamiento global. Es decir, la amplificación y estabilización de un comportamiento novedoso que deviene global como consecuencia de la sensibilidad que, en la situación lejana al equilibrio, manifiestan todos los sistemas complejos. Por lo demás, en realidad no existe un estado estable para los sistemas complejos, sino únicamente metaestable. Siendo en los puntos críticos, en aquellos en los que el sistema alcanza una alta inestabilidad, donde las perturbaciones pueden conducir al sistema a un nuevo régimen de funcionamiento o a una nueva estructuración de sus componentes que -en todo caso- cambia la articulación habitual del sistema. La investigación de esos puntos o estados de alta inestabilidad pone de manifiesto las deficiencias de nuestro instrumental metodológico y analítico clásico, por cuanto que las fluctuaciones, ruidos o perturbaciones que, normalmente son valorados como desviaciones insignificantes respecto a los valores medios que definen y caracterizan al sistema complejo que se trate -físico, biológico o social- en su estado metaestable, resultan ser claves para entender el nuevo comportamiento que, eventualmente tras la crisis, puede regir el sistema globalmente.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, Alan Ross (Dir.) (1983), *Pensée et machine*, Seyssel, Éditions du Champ Vallon.
- ANDLER, Daniel (1986), "Le cognitivisme orthodoxe en question", *Cahiers du CREA*, nº 9, pp. 7-105.
- (Dir.) (1992), *Introduction aux sciences cognitives*, Paris, Gallimard.
- ARACIL, Javier (1986), *Introducción a la dinámica de sistemas*, Madrid, Alianza Editorial.
- ARBIB, Michael A. (1976), "Autómatas auto-reproducibles. Algunas implicaciones para la biología teórica", en C.H. Waddington y otros, *Hacia una biología teórica*, Madrid, Alianza Editorial, pp. 355-383.
- ARDITI, Benjamín (1986), "Una gramática posmoderna para pensar lo social", *Zona Abierta*, nº 41-42, pp. 183-206.
- ARNOLD, Marcelo y RODRIGUEZ, Darío (1990a, Inédito), "Una propuesta teórica para las ciencias sociales del siglo veintiuno".
- (1990b, Inédito), "Teoría de los sistemas sociales: Las bases de la perspectiva luhmanniana".
- ASHBY, W.Ross (1977), *Introducción a la cibernética*, México, Ediciones Nueva Visión.
- ASTROFF, Roberta J. y NYBERG, Amy Kiste (1992), "Discursive hierarchies and the construction of crisis in the news: a case study", *Discourse and Society*, vol. 3, pp. 5-23.
- ATKINS, P.W. (1992), *La segunda ley*, Barcelona, Prensa Científica S.A.
- ATLAN, Henri (1972), *L'organisation biologique et la théorie de l'information*, Paris, Hermann.
- (1976), "Les modèles dynamiques en réseaux et les sources d'information en biologie", en A. Lichnerowicz, F. Perroux y G. Gadoffre, *Structure et dynamique des systèmes*, Paris, Maloin-Doin Editeurs, pp. 95-126.
- (1977), "L'organisation du vivant et ses representations", en VV.AA., *Modelisation et maitrise des systèmes. Techniques économiques*

sociaux. Actes du congrès organisé par l'AFCEt à Versailles, Tomo 1, Suresnes, Editions Hommes et Techniques, pp. 118-150.

- (1981), "Sur le déterminisme: Réponses à René Thom", *Le Débat*, n° 14, pp. 83-89.

- (1983), "L'émergence du nouveau et du sens", en P. Dumouchel y J.P. Dupuy (Dir.), *L'auto-organisation. De la physique au politique*, Paris, Éditions du Seuil.

- (1985), "Violence fondatrice et référent divin", en P. Dumouchel (Dir), *Violence et vérité: Autour de René Girard*, Paris, Éditions Grasset et Fasquelle, pp. 434-449.

- (1986a), "Créativité biologique et auto-crédation du sens", *Cahiers du CREA*, n° 9, pp. 145-189.

- (1986b), "Métabolisme cellulaire et thermodynamique en réseaux", *Cahiers S.T.S. (Science-Technologie-Société)*, n° 9-10, pp. 193-200.

- (1986c), "Crédation de signification dans des réseaux d'automates", *Cahiers S.T.S. (Science-Technologie-Société)*, n° 9-10, pp. 65-79.

- (1988), "Le concept d'auto-organisation en biologie theorique", en H. Barreau (Ed.), *Théories biologiques. Ethique et experimentation en médecine*, Paris, Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, pp. 171-195.

- (1989a), "Du code génétique aux codes culturels", en A. Jacob (Dir.), *Encyclopédie philosophique universelle*, Paris, Presses Universitaires de France, pp. 419-430.

- (1989b), "Finalidades poco comunes", en W.I. Thompson (Ed.), *Gaia. Implicaciones de la nueva biología*, Barcelona, Kairós, pp. 107-123.

- (1990a), *Entre el cristal y el humo: Ensayo sobre la organización de lo vivo*, Madrid, Debate.

- (1990b), "Postulats métaphysiques et méthodes de recherche", en VV.AA., *La querelle du déterminisme*, Paris, Éditions Gallimard, pp. 113-120.

- (1990c), "Ends and meaning in machine-like systems", *Communication & Cognition*, vol. 23, n° 2/3, pp. 143-156.

- (1991a), *Con razón y sin ella: Intercrítica de la Ciencia y del Mito*,

Barcelona, Tusquets.

- (1991b), *Tout non peut-être. Éducation et vérité*, Paris, Éditions du Seuil.

- (1991c), "Introduction. L'intuition du complexe et ses théorisations", en F. Fogelman-Soulié (Dir.), *Les théories de la complexité*, Paris, Éditions du Seuil, pp. 9-42.

ATLAN, Henri y DUPUY, Jean-Pierre (1981), "Mimesis and social morphogenesis: violence and the sacred from a systems analysis viewpoint", en G.E. Lasker (Ed.), *Applied systems and cybernetics*, vol. III, New York, Pergamon Press, pp. 1263-1268.

ATLAN, Henri y STENGERS, Isabelle (1985), "Interview d'Henri Atlan, mars 1985", *Cahiers du CREA*, n° 8, pp. 243-254.

AUGÉ, Marc (1993), *Los "no lugares". Espacios del anonimato: Una antropología de la sobremodernidad*, Barcelona, Gedisa.

AYRES, Robert U. (1988), "Self-Organization in Biology and Economics", *International Journal on the Unity of the Sciences*, vol. 1, n° 3, pp. 267-304.

BAK, Per y CHEN, Kan (1991), "Les systèmes critiques auto-organisés", *Pour la science*, n° 161, pp. 52-60.

BALANDIER, Georges (1989), *El desorden. La teoría del caos y las ciencias sociales. Elogio de la fecundidad del movimiento*, Barcelona, Gedisa.

BAREL, Yves (1983), "Le "paradoxe de l'Auto", Hofstadter, Varela et Atlan", *Cahiers du CREA*, n° 2, pp. 187-229.

- (1989), *Le paradoxe et le système. Essai sur le fantastique social*, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble.

BATESON, Gregory (1989), "Los hombres son hierba. Metáfora y el mundo del proceso mental", en W.I. Thompson (Ed.), *Gaia. Implicaciones de la nueva biología*, Barcelona, Kairós, pp. 37-46.

- (1990), *Espíritu y naturaleza*, Buenos Aires, Amorrortu.

- (1991), *Pasos hacia una ecología de la mente*, Buenos Aires, Ed. Planeta Argentina-Carlos Lohlé S.A.

BATESON, Gregory y BATESON, Mary Catherine (1989), *El temor de los*

ángeles, Barcelona, Gedisa.

- BEER, Stafford (1984), "De concordancias y discrepancias: Notas crítico-elogiosas sobre "De máquinas y seres vivos"", *CEA (Centro de Estudios en Autonomía y Autoorganización)*, nº 1, pp. 58-65.
- BEJIN, André (1974), "Différenciation, complexification, évolution des sociétés", *Communications*, nº 22, pp. 109-133.
- BERTALANFFY, Ludwig von, ASHBY, W. Ross, WEINBERG, Gerald M. y otros (1987), *Tendencias en la teoría general de sistemas*, Madrid, Alianza.
- BIRCH, Jim (1991), "Re-inventing the already punctured wheel: reflections on a seminar with Humberto Maturana", *Journal of Family Therapy*, vol. 13, pp. 349-373.
- BOHM, David (1976a), "Algunas observaciones sobre la noción de orden", en C.H. Waddington y otros, *Hacia una biología teórica*, Madrid, Alianza Editorial, pp. 215-241.
- (1976b), "Observaciones adicionales sobre la noción de orden", en C.H. Waddington y otros, *Hacia una biología teórica*, Madrid, Alianza Editorial, pp. 243-266.
- BOURDIEU, Pierre, CHAMBOREDON, Jean-Claude y PASSERON, Jean-Claude (1976), *El oficio de sociólogo*, Madrid, Siglo XXI.
- BOYER, Alain y ORLEAN, André (1990), *Theorie des conventions et innovations sociales*, Rapport nº 9023A, Paris, CNRS.
- BRANS, Jean-Pierre, STENGERS, Isabelle y VINCKE, Philippe (Dir.) (1988), *Temps et Devenir*, Colloque de Cerisy, Ginebra, Patiño.
- BRIGGS, John y PEAT, F. David (1990), *Espejo y reflejo: del caos al orden. Guía ilustrada de la teoría del caos y la ciencia de la totalidad*, Barcelona, Gedisa.
- BRILLOUIN, Léon (1988), *La science et la théorie de l'information*, Sceaux, Éditions Jacques Gabay.
- BROWN, Richard H. (1977), "Métaphore et méthode: de la logique et de la découverte en sociologie", *Cahier International de Sociologie*, vol. 62, pp. 61-73.
- BUHL, Walter L. (1988), "Die dunkle Seite der Soziologie: Zum Problem gesellschaftlicher Fluktuationen", *Soziale Welt*, vol. 39, pp. 18-46.

- CANETTI, Elías (1983), *Masa y Poder* (2 volúmenes), Madrid, Alianza.
- CASAS-VAZQUEZ, José (1988), "Une nouvelle approche de la thermodynamique du non-équilibre", en J.P. Brans, I. Stengers, Ph. Vincke (Dirs.), *Temps et devenir*, Colloque de Cerisy, Ginebra, Patiño, pp. 30-32.
- C.E.I.S.E. (1989), *Seminario internacional sobre los problemas de información a la población en caso de evacuación colectiva*, Tomo 1, Madrid, Dirección General de Protección Civil.
- CONCHE, Marcel (1978), "La notion d'ordre", *Revue de l'enseignement philosophique*, nº 4, pp. 1-16.
- COTTONE, R.ROCCO (1989), "The third epistemology: extending Maturana's structure determinism", *American Journal of Family Therapy*, vol. 17, pp. 99-109.
- COUCH, Carl J. (1986), "Elementary forms of social activity", *Studies in Symbolic Interaction*, sup. 2(A), pp. 113-129.
- DANCHIN, Antoine (1990), "La permanence et le changement", en VV.AA., *La querelle du déterminisme*, Paris, Éditions Gallimard, pp. 121-138.
- DE GREENE, Kenyon B. (1981), "Limits to societal systems adaptability", *Behavioral Science*, vol. 26, pp. 103-113.
- DELEUZE, Gilles (1989a), *Lógica del sentido*, Barcelona, Paidós.
- (1989b), *El pliegue: Leibniz y el barroco*, Barcelona, Paidós.
- DELEUZE, Gilles y GUATTARI, Félix (1988), *Mil mesetas. Capitalismo y esquizofrenia*, Valencia, Pre-Textos.
- (1985), *El Anti-Edipo. Capitalismo y esquizofrenia*, Barcelona, Paidós.
- (1977), *Rizoma (Introducción)*, Valencia, Pre-Textos.
- DRUWE, Ulrich (1988), " "Selbstorganisation" in den Sozialwissenschaften. Wissenschaftstheoretische Anmerkungen zur Übertragung de naturwissenschaftlichen Selbstorganisationsmodelle auf sozialwissenschaftliche Fragestellungen", *Kolner Zeitschrift fu Soziologie und Sozialpsychologie*, vol. 40, pp. 762-775.
- DUMOUCHEL, Paul y DUPUY, Jean-Pierre (1979), *L'enfer des choses: René Girard et la logique de l'économie*, Paris, Éditions du Seuil.

- (Dirs.) (1983), *L'auto-organisation. De la physique au politique*, Paris, Éditions du Seuil.

DUPUY, Jean Pierre (1975), *Valeur sociale et encombrement du temps*, Paris, Éd. du Centre National de la Recherche Scientifique.

- (1977a), "Analyse des systèmes et pensée politique. La tentation technocratique de l'Analyse des Systèmes", en VV.AA., *Modélisation et maîtrise des systèmes. Techniques économiques sociales. Actes du congrès organisé par l'AFCEP à Versailles*, Tomo 1, Suresnes, Editions Hommes et Techniques, pp. 74-87.
- (1977b), "Autonomie de l'homme et stabilité de la société", *Economie Appliquée*, n° 1, pp. 85-111.
- (1978), "L'économie de la morale, ou la morale de l'économie. Philosophie politique et nouvelles approches épistémologiques", *Revue d'Economie Politique*, n° 3, pp. 404-439.
- (1980), "Bien-être ou autonomie", *Problèmes Politiques et Sociaux*, n° 383, pp. 26-27.
- (1982a), "Ouverture", *Cahiers du CREA*, n° 1, pp. 3-10.
- (1982b), "La main invisible et l'indetermination de la totalisation sociale (De la contagion dans les affaires humaines)", *Cahiers du CREA*, n° 1, pp. 35-68.
- (1983), "De l'économie considérée comme théorie de la foule", *Stanford French Review*, pp. 245-263.
- (1984a), "John Rawls et l'instabilité de tout modèle de la justice sociale", *Cahiers du CREA*, n° 4, pp. 9-61.
- (1985a), "L'essor de la première cybernétique (1943-1953)", *Cahiers du CREA*, n° 7, pp. 9-139.
- (1985b), "Totalisation et méconnaissance", en P. Dumouchel (Dir), *Violence et Vérité: Autour de René Girard*, Paris, Editions Grasset et Fasquelle, pp. 110-144.
- (1986a), "De deux formes de réseaux sociaux: la foule et le marché", *Cahiers S.T.S. (Science-Technologie-Société)*, n° 9-10, pp. 239-255.
- (1986b), "Logiques de l'auto-organisation dans les sciences sociales: connaissance et méconnaissance", en VV.AA., *Sens et Place des*

Connaissances dans la Société, Editions du CNRS, pp. 147-177.

- (1986c), "L'autonomie du social: de la contribution de la pensée systémique à la théorie de la société", *Cahiers du CREA*, n° 10, pp. 229-273.
- (1987), "De l'émancipation de l'économie: Retour sur "le problème d'Adam Smith" ", *L'Année Sociologique*, vol. 37, pp. 311-342.
- (1988a), "Points fixes et autoréférence: à propos de la controverse Aubert-Simon dans "Social Science Information" ", *Cahiers du CREA*, n° 11, pp. 257-268.
- (1988b), " "Common Knowledge" et sens commun", *Cahiers du CREA*, n° 11, pp. 11-51.
- (1989a), "L'autonomie du social: de la contribution de la pensée systémique à la théorie de la société", en A. Jacob (Dir.), *Encyclopédie philosophique universelle*, Tomo 1, Paris, Presses Universitaires de France, pp. 254-265.
- (1989b), "Individualisme et auto-transcendance", *Revue Européenne des Sciences Sociales*, vol. 27, n° 86, pp. 245-253.
- (1990), *Ordres et désordres. Enquête sur un nouveau paradigme*, Paris, Éditions du Seuil.
- (1991a), *La panique*, Paris, Les Empêcheurs de Penser en Rond.
- (1991b), "Sur la complexité du social", en F. Fogelman-Soulié (Dir.), *Les théories de la complexité*, Paris, Éditions du Seuil, pp. 394-409.
- (1992), *Introduction aux sciences sociales. Logique des phénomènes collectifs*, Paris, Ellipses.

DUPUY, Jean-Pierre y DUMOUCHEL, Paul (1984), "L'auto-organisation: du vivant au social ou du social au vivant?", *Cahiers S.T.S. (Science-Technologie-Société)*, n° 5, pp. 45-60.

DYNES, Russell R. (1990), "Community emergency planning: false assumptions and inappropriate analogies", Preliminary Paper 145, D.R.C.(Disaster Research Center), University of Delaware.

ESPAGNAT, Bernard D'(1990), *Penser la science ou les enjeux du savoir*, Paris, Dunod.

- FOERSTER, Heinz von (1981), "On cybernetics of cybernetics and social theory", en G. Roth y H. Schwegler (Eds.), *Self-organizing systems. An interdisciplinary approach*, New York, Campus Verlag, pp. 102-105.
- (1991), *Las semillas de la cibernética. Obras escogidas*, Barcelona, Gedisa.
- FOGELMAN-SOULIÉ, Françoise (Dir.) (1991a), *Les théories de la complexité*, Paris, Éditions du Seuil.
- FOGELMAN-SOULIÉ, François (1991b), "De la complexité dynamique et de son utilisation dans les réseaux connexionnistes", en F. Fogelman-Soulié (Dir.), *Les théories de la complexité*, Paris, Éditions du Seuil, pp. 48-57.
- FORSÉ, Michel (1989), *L'ordre improbable. Entropie et processus sociaux*, Paris, Presses Universitaires de France.
- FORTIN, Andrée (1980), "La sociologie: science de/dans la société", *Sociologie et Sociétés*, vol. 12, pp. 75-95.
- FREUND, Julien (1976), "Observations sur deux catégories de la dynamique polémogène: De la crise au conflit", *Communications*, vol. 25, pp. 101-112.
- GARCÍA GÓMEZ, Andrés (1993), *Análisis de coyuntura y propuesta de futuro de la Protección Civil*, Documento interno CEISE (Ministerio del Interior).
- GARCIA-OLIVARES R., Antonio (1988), "El concepto de cambio estructural en ciencias sociales", *Revista Internacional de Sociología*, nº 46, vol. 2, pp. 243-259.
- GEORGE, Claude (1988), "Dynamique des corrélations", en J.P.Brans, I. Stengers y Ph. Vincke (Drs), *Temps et devenir*, Colloque de Cerisy, Ginebra, Patiño, pp. 201-210.
- GIRARD, René (1978), *Des choses cachées depuis la fondation du monde*, Paris, Ed. Grasset & Fasquelle.
- (1983), *La violencia y lo sagrado*, Barcelona, Anagrama.
- (1986), *El chivo expiatorio*, Barcelona, Anagrama.
- GIULIANO, Luca (1991), "La "simulazione giocata": una strategia conoscitiva per lo studio della complessità sociale", *Sociologia*, vol. 25, nº 2-3, pp. 135-154.

- GLANSDORFF, P. y PRIGOGINE, I. (1971), *Structure, stabilité et fluctuations*, Paris, Masson et Cie. Éditeurs.
- GLEICK, James (1988), *Caos. La creación de una ciencia*, Barcelona, Seix Barral.
- GOLDBERGER, Ary L., RIGNEY, David R. y WEST, Bruce J. (1990), "Caos y fractales en la fisiología humana", *Investigación y Ciencia*, nº 163, pp. 31-38.
- GOULD, Stephen Jay (1992), *La flecha del tiempo*, Madrid, Alianza.
- GREGORY, R.L. (1976), "Acerca de cómo tan poca información controla tanto comportamiento", en C.H. Waddington y otros, *Hacia una biología teórica*, Madrid, Alianza Editorial, pp. 397-412.
- GUNTERN, Gottlieb (1982), "Auto-organization in human systems", *Behavioral Science*, vol. 27, pp. 323-337.
- HAKEN, Hermann (1981), "Synergetics and the problem of selforganization", en G. Roth y H. Schwegler (Eds.), *Self-organizing systems. An interdisciplinary approach*, New York, Campus Verlas, pp. 9-13.
- HAVELANGE, Véronique (1991), "Structures sociales et action cognitive: de la complexité en sociologie", en F. Fogelman-Soulié (Dir.), *Les théories de la complexité*, Paris, Éditions du Seuil, pp. 368-393.
- IBAÑEZ, Jesús (1979), *Más allá de la sociología. El grupo de discusión: teoría y crítica*, Madrid, Siglo XXI.
- (1985), *Del algoritmo al sujeto. Perspectivas de la investigación social*, Madrid, Siglo XXI.
- (1991), *El regreso del sujeto. La investigación social de segundo orden*, Santiago de Chile, Amerinda.
- (Ed.) (1990), *Nuevos avances en la investigación social. La investigación social de segundo orden*, Barcelona, Anthropos.
- ILLUMINATI, Augusto (1981), "Innovazione ed equilibrio nelle nuove tendenze metodologiche", *Critica Sociológica*, vol. 57-58, pp. 77-82.
- ISRAELSTAM, Ken (1989), "Intimacy and distance regulation: From Homeostasis to structural coupling and coherence", *Australian and New Zealand Journal of Family Therapy*, vol. 10, pp. 7-11.

- IZUZQUIZA, Ignacio (1990), *La sociedad sin hombres. Niklas Luhmann o la teoría como escándalo*, Barcelona, Anthropos.
- JACOB, François (1981), *Le jeu des possibles. Essai sur la diversité du vivant*, Paris, Fayard.
- JANTSCH, Erich (1980), *The self-organizing universe. Scientific and human implications of the emerging paradigm of evolution*, New York, Pergamon Press.
- JÜRGENS, Hartmut, PEITGEN, Heinz-Otto y SAUPE, Dietmar (1990), "El lenguaje de los fractales", *Investigación y Ciencia*, nº 169, pp. 46-57.
- KAUFFMAN, Stuart (1991), "Antichaos et adaptation", *Pour la Science*, nº 168, pp. 66-72.
- KEENEY, Bradford P. (1987), *Estética del cambio*, Buenos Aires, Paidós.
- KLINE, Morris (1985), *Matemáticas. La pérdida de la certidumbre*, Madrid, Siglo XXI.
- KOPPEL, Moshe y ATLAN, Henri (1991), "Les gènes: programme ou données? Le rôle de la signification dans les mesures de complexité", en F. Fogelman-Soulié (Dir.), *Les théories de la complexité*, Paris, Éditions du Seuil, pp. 188-204.
- KOPPEL, Moshe, ATLAN, Henri y DUPUY, Jean-Pierre (1991), "Complexité et aliénation. Formalisation de la conjecture de von Foerster", en F. Fogelman-Soulié (Dir.), *Les théories de la complexité*, Paris, Éditions du Seuil, pp. 410-421.
- KUHN, Thomas S. (1981), *La estructura de las revoluciones científicas*, Madrid, Fondo de Cultura Económica.
- LAGADEC, Patrick (1981), *La civilisation du risque. Catastrophes technologiques et responsabilité sociale*, Paris, Éditions du Seuil.
- (1988), *États d'urgence. Défaillances technologiques et déstabilisation sociale*, Paris, Éditions du Seuil.
- (1991), *La gestion des crises. Outils de réflexion à l'usage des décideurs*, Paris, McGraw-Hill.
- LAPASSADE, Georges (1979), *El analizador y el analista*, Barcelona, Gedisa.
- LASZLO, Ervin (1990), *La gran bifurcación*, Barcelona, Gedisa.

LE-MOIGNE, Jean-Louis (1983), "Le vieillissement des organisations sociales", *Communications*, vol. 37, pp. 181-194.

- (1990a), *La modélisation des systèmes complexes*, Paris, Dunod.

- (1990b), *La théorie du système général. Théorie de la modélisation*, Paris, Presses Universitaires de France.

LEVINS, R. (1976), "Sistemas complejos", en C.H. Waddington y otros, *Hacia una biología teórica*, Madrid, Alianza Editorial, pp. 479-498.

LEVY, Pierre (1985a), "Brèves indications sur les vies de Warren Mc Culloch et de Walter Pitts", *Cahiers du CREA*, n° 7, pp. 203-210.

- (1985b), "L'Oeuvre de Warren Mc Culloch", *Cahiers du CREA*, n° 7, pp. 211-255.

- (1985c), "Wittgenstein et la Cybernétique", *Cahiers du CREA*, n° 7, pp. 257-285.

- (1985d), "Analyse de contenu des travaux du Biological Computer Laboratory (B.C.L.)", *Cahiers du CREA*, n° 8, pp. 155-191.

- (1985e), "Le théâtre des opérations: Au sujet des travaux du B.C.L.", *Cahiers du CREA*, n° 8, pp. 193-223.

- (1987), *La machine univers. Création, cognition et culture informatique*, Paris, Éditions La Découverte.

LIVET, Pierre (1985), "Cybernétique, auto-organisation et néo-connectionisme", *Cahiers du CREA*, n° 8, pp. 105-154.

- (1986), "La communication et ses indécidabilités", *Cahiers du CREA*, n° 10, pp. 137-227.

- (1990), "Second cybernetics: a double strategy for representing cognition", *Communication & Cognition*, vol. 23, n° 2/3, pp. 213-221.

- (1991), "Un facteur de complexité: le jeu de l'indétermination dans les relations humaines", en F. Fogelman-Soulié (Dir.), *Les théories de la complexité*, Paris, Éditions du Seuil, pp. 436-452.

LOURAU, René (1980), *El Estado y el inconsciente. Ensayo de sociología política*, Barcelona, Kairós.

- (1988), *El análisis institucional*, Buenos Aires, Amorrortu.

- LOYE, David E. y EISLER, Riane (1987), "Chaos and transformation: implications of nonequilibrium theory for social science and society", *Behavioral Science*, nº 32, pp. 53-65.
- LUHMANN, Niklas (1990), *Sociedad y sistema: la ambición de la teoría*, Barcelona, Paidós.
- (1991), *Sistemas sociales. Lineamientos para una teoría general*, México, Alianza Editorial/Universidad Iberoamericana.
- LYOTARD, Jean-François (1984), *La condición postmoderna*, Madrid, Cátedra.
- MAIRLOT, F.E. (1990), "Analyse critique de l'information. Vers une microthermodynamique?", *Communication & Cognition*, vol. 23, nº 2/3, pp. 245-253.
- MALITA, Mircea (1977), "Comment les hommes, les machines et les sociétés apprennent", *Impact: Science et Société*, vol. 27, nº 1, pp. 99-110.
- MANDELBROT, Benoît (1988), *Los objetos fractales. Forma, azar y dimensión*, Barcelona, Tusquets.
- MARTINEZ MARTINEZ, Francisco José (1987), *Ontología y diferencia: la filosofía de Gilles Deleuze*, Madrid, Editorial Orígenes.
- MARUYAMA, Magoroh (1978), "The Epistemological Revolution: Prigogine and reciprocal causal logic", *Futures*, vol. 10, nº 3, pp. 240-242.
- MATURANA, Humberto R. (1984a), "Estrategias cognitivas", *C.E.A. (Centro de Estudios en Autonomía y Autoorganización)*, nº 1, pp. 33-47.
- (1984b), "Autopoiesis: núcleo duro y cinturón protector", *C.E.A. (Centro de Estudios en Autonomía y Autoorganización)*, nº 1, pp. 18-32.
- (1989), "Todo lo dice un observador", en W.I. Thompson (Ed.), *Gaia. Implicaciones de la nueva biología*, Barcelona, Kairós, pp. 63-79.
- (1990), *Biología de la cognición y epistemología*, Temuco, Ediciones Universidad de La Frontera.
- MATURANA, Humberto R. y VARELA, Francisco (1980), *Autopoiesis and Cognition: The realization of the living*, London, D. Reidel Publishing Company.

- (1990), *El árbol del conocimiento. Las bases biológicas del conocimiento humano*, Madrid, Debate.

MONGIN, Philippe (1985), "Remarques sur les équilibres de représentations et l'autoréférence", *Cahiers du CREA*, n° 5, pp. 149-174.

MONOD, Jacques (1988), *El azar y la necesidad. Ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna*, Barcelona, Tusquets.

MORENO, Alvaro (1986), "Épistémologie des modes de représentation des systèmes vivants", *Cahiers du CREA*, n° 9, pp. 191-221.

MORIN, Edgar (1974), "La nature de la société", *Communications*, n° 22, pp. 1-32.

- (1976), "Pour une crisologie", *Communications*, n° 25, pp. 149-163.

- (1983), *El método. La vida de la vida*, Madrid, Cátedra.

- (1984a), *Ciencia con consciencia*, Barcelona, Anthropos.

- (1984b), *Sociologie*, Paris, Fayard.

- (1986), *El método. La naturaleza de la naturaleza*, Madrid, Cátedra.

- (1988), *El método. El conocimiento del conocimiento*, Madrid, Cátedra.

- (1990a), *Introduction à la pensée complexe*, Paris, ESF éditeur.

- (1990b), "Au-delà du déterminisme: le dialogue de l'ordre et du désordre", en VV.AA., *La querelle du déterminisme*, Paris, Éditions Gallimard, pp. 79-101.

- (1991), *La méthode. Les idées*, Paris, Éditions du Seuil.

MORIN, Edgar y PIATELLI-PALMARINI, Massimo (1974a), *L'unité de l'homme. Le primate et l'homme*, Éditions du Seuil.

- (1974b), *L'unité de l'homme. Le cerveau humain*, Paris, Éditions du Seuil.

- (1974c), *L'unité de l'homme. Pour une anthropologie fondamentale*, Paris, Éditions du Seuil.

MOSCOVICI, Serge (1981), *L'âge des foules. Un traité historique de psychologie des masses*, Paris, Fayard.

MOYA, Carlos (1982), *Teoría sociológica*, Madrid, Taurus.

- (1984a), *Señas de Leviatán. Estado nacional y sociedad industrial: España 1936-1980*, Madrid, Alianza.

- (1984b), "Identidad colectiva: un programa de investigación científica", *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, nº 25, pp. 7-35.

MURPHY, John W. (1991), "Catastrophe Theory: Implications for Probability", *American Journal of Economics and Sociology*, vol. 50, pp. 143-148.

NAVAS, Alejandro (1989), *La teoría sociológica de Niklas Luhmann*, Pamplona, EUNSA.

NICOLIS, Grégoire y PRIGOGINE, Ilya (1992), *A la rencontre du complexe*, Paris, Presses Universitaires de France.

ODUM, Howard T. (1988), "Self-organization, transformity, and information", *Science*, vol. 242, pp. 1132-1139.

OFFE, Claus (1988), *Partidos políticos y nuevos movimientos sociales*, Madrid, Editorial Sistema.

ORLEAN, André (1985), "Heterodoxie et incertitude", *Cahiers du CREA*, nº 5, pp. 247-275.

PARDI, Francesco (1986), "Dall'autoregolazione all'autoreferenza: il ruolo dei media comunicativi nelle nuove teorie sistemiche", *Studi di Sociologia*, vol. 24, nº 2, pp. 201-214.

PASK, Gordon (1988), "The old and new in cybernetic fashions", (Inédito).

- (1990a), "Introduction: Different kinds of cybernetics", *Communication & Cognition*, vol. 23, nº 2/3, pp. 125-140.

- (1990b), "Correspondence, consensus, and coherence and the rape of democracy", *Communication & Cognition*, vol. 23, nº 2/3, pp. 235-244.

PAUCHANT, Thierry C. (1989), "Le management des crises: d'une mode éphémère a une nécessité stratégique", *Preventique*, nº 27, pp. 4-13.

PESSIS-PASTERNAK, Guitta (1991a), *Faut-il brûler Descartes? Du chaos à l'intelligence artificielle: quand les scientifiques s'interrogent*, Paris, Éditions La Découverte.

- (1991b), "Hasard ou déterminisme? La science au tribunal", *Futuribles*, vol. 157, pp. 55-66.

PETITOT, Jean (1988), "Pas même un ange (Le problème de l'émergence du descriptible hors de l'indescriptible)", en J.P.Brans, I. Stengers y Ph. Vincke (Dirs.), *Temps et devenir*, Colloque de Cerisy, Ginebra, Patiño, pp. 295-305.

PISCITELLI, Alejandro G. (1984), "De la epistemología, de la autopoiesis y de la cognición", *C.E.A. (Centro de Estudios en Autonomía y Autoorganización)*, nº 1, pp. 1-7.

POMIAN, Krzysztof (1990), "Le déterminisme: histoire d'une problématique", en VV.AA., *La querelle du déterminisme*, Paris, Éditions Gallimard, pp. 11-58.

PRIGOGINE, Ilya (1976), "Order through Fluctuation: Self-Organization and Social System", en E. Jantsch y C.H. Waddington (Eds.), *Evolution and Consciousness: Human Systems in Transition*, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 93-126.

- (1977), "Fluctuations et evolution de la complexité", en VV.AA., *Modelisation et maitrise des systèmes. Techniques économiques sociaux. Actes du Congrès organisé par l'AFCEt à Versailles*, Tomo 1, Suresnes, Editions Hommes et Techniques, pp. 26-43.

- (1981), "Einstein: triomphes et conflits", en VV.AA., *Albert Einstein 1879-1955. Memorial Albert Einstein publié à l'occasion du centième anniversaire de sa naissance*, Bruxelles, Palais des Académies, pp. 30-43.

- (1986), "Science, Civilization and Democracy: Values, Systems, Structures and Affinities", *Futures*, vol. 18, nº 4, pp. 493-507.

- (1988), *¿Tan sólo una ilusión?. Una exploración del caos al orden*, Barcelona, Tusquets.

- (1989), "The Philosophy of Instability", *Futures*, vol. 21, nº 4, pp. 396-400.

- (1990), "Loi, histoire...et désertion", en VV.AA., *La querelle du déterminisme*, Paris, Éditions Gallimard, pp. 102-112.

- (1991), *El nacimiento del tiempo*, Barcelona, Tusquets.

PRIGOGINE, Ilya y STENGERS, Isabelle (1989), "Devenir et irréversibilité", en A. Jacob (Dir.), *Encyclopédie philosophique universelle*, Paris, Presses Universitaires de France, pp. 362-368.

- (1990a), *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*, Madrid, Alianza.

- (1990b), *Entre el tiempo y la eternidad*, Madrid, Alianza.

- (1990c), "La querelle du déterminisme, six ans après", en VV.AA., *La querelle du déterminisme*, Paris, Éditions Gallimard, pp. 247-265.

PRIGOGINE, Ilya, STENGERS, Isabelle y PAHAUT, Serge (1979), "La dynamique, de Leibniz a Lucrece", *Critique. Revue générale des publications françaises et étrangères*, nº 380, Tomo XXXV, pp. 35-55.

PUJADAS MUÑOZ, Juan José (1992), *El método biográfico: El uso de las historias de vida en ciencias sociales*, Madrid, Centro de Investigaciones Sociológicas.

QUARANTELLI, E.L. (1989a), "Disaster recovery: Comments on the literature and a mostly annotated bibliography", *Miscellaneous Reports 44*, D.R.C.(Disaster Research Center), University of Delaware.

- (1989b), "How individuals and groups react during disasters: planning and managing implications for EMS delivery", *Preliminary Paper 138*, D.R.C.(Disaster Research Center), University of Delaware.

- (1990a), "Similarities and differences in institutional responses to natural and technological disasters", *Preliminary Paper 147*, D.R.C.(Disaster Research Center), University of Delaware.

- (1990b), "Radiation disasters: similarities and differences from other disasters", *Preliminary Paper 153*, D.R.C.(Disaster Research Center), University of Delaware.

- (1993), "La catástrofe: fenómeno social", *Revista Internacional de Protección Civil*, vol. VI, nº 2, pp. 32-34.

RODRIGUEZ, Darío (1986), "Elementos para una comparación de las teorías de Maturana y Luhmann. Al profesor Niklas Luhmann, en su 60 cumpleaños", *Estudios Sociales*, nº 54, pp. 9-30.

ROIZ, Javier (1992), *El experimento moderno*, Madrid, Editorial Trotta.

- ROSENSTIEHL, Pierre y PETITOT, Jean (1974), "Automate asocial et systèmes acentrés", *Communications*, nº 22, pp. 45-62.
- ROSENTHAL, Uriel (1988), "Studies in Holland flood disaster 1953: an essay on the proto-sociology of disaster", *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, vol. 6, nº 3, pp. 233-251.
- RUELLE, David (1988), "L'impact philosophique de la physique d'aujourd'hui", en J.P. Brans, I. Stengers y Ph. Vincke (Dir.), *Temps et devenir*, Colloque de Cerisy, Ginebra, Patiño, p. 174.
- (1990), "Hasard et déterminisme le problème de la prédictibilité", en VV.AA., *La querelle du déterminisme*, Paris, Éditions Gallimard, pp. 153-162.
- (1993), *Azar y caos*, Madrid, Alianza.
- SAHAL, Devendra (1982), "Structure and self-organization", *Behavioral Science*, vol. 27, nº 3, pp. 249-258.
- SALTHER, Stanley S. (1990), "Hierarchical non-equilibrium self-organization as the new post-cybernetic perspective", *Communication & Cognition*, vol., 23, nº 2/3, pp. 157-164.
- SARUBBI, Vicente (1989), "Hacia una nueva epistemología de las ciencias sociales", *Revista Paraguaya de Sociología*, año 26, nº 75, pp. 73-105.
- SAUNDERS, Peter T. (1989), *Una introducción a la teoría de catástrofes*, Madrid, Siglo XXI.
- SCANLON, T. Joseph (1988), "Disaster's little known pioneer: Canada's Samuel Henry Prince", *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, vol. 6, nº 3, pp. 213-232.
- (1993), "Accidente, Desastre, Catástrofe", *Stop Disasters*, nº 14, pp. 14-15.
- SCANLON, Joseph y OSBORNE, Gillian (1992), "The man who helped Sammy Prince write: Dwight Johnstone and the Halifax explosion", *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, vol. 10, nº 1, pp. 189-206.
- SCHANGER, Jacques (1980), "Une théorie descriptive de l'explication", *Revue de Métaphysique et de Morale*, año 85, nº 4, pp. 468-488.

- SCHLANGER, Judith E. (1974), "Sur le problème épistémologique du nouveau", *Revue de Métaphysique et de Morale*, 79 année, n° 1, pp.27-49.
- SCHOPPE, Arno, TSCHACHER, Wolfgang y BRUNNER, Ewald Johannes (1989), "Ist der Transfer naturwissenschaftlicher Begriffe in die Sozialwissenschaften möglich? Replik zu einem Artikel von Ulrich Druwe", *Kolner Zeitschrift fu Soziologie und Sozialpsychologie*, vol. 41, n° 2, pp. 378-380.
- SCHRÖDINGER, Erwin (1988), *¿Qué es la vida? El aspecto físico de la célula viva*, Barcelona, Tusquets.
- SCHWEGLER, Helmut (1981), "Structure and organization of biological systems", en G. Roth y H. Schwegler (Eds.), *Self-organizing systems. An interdisciplinary approach*, New York, Campus Verlag, pp. 24-38.
- SERRES, Michel (1981a), "Sur le déterminisme", *Le Débat: Histoire, politique, société*, n° 15, pp. 93-123.
- (1981b), *Hermès IV. La distribution*, Paris, Les Editions de Minuit.
- (1991), *El paso del Noroeste*, Madrid, Editorial Debate.
- SHANNON, Claude E. y WEAVER, Warren (1981), *Teoría matemática de la comunicación*, Madrid, Ediciones Forja.
- SHELDRAKE, Rupert (1990), *La presencia del pasado. Resonancia mórfica y hábitos de la naturaleza*, Barcelona, Kairós.
- SMELSER, Neil J. (1989), *Teoría del comportamiento colectivo*, México, Fondo de Cultura Económica.
- SMITH, Charles y GEMMILL, Gary (1991), "Change in the Small Group: A Dissipative Structure Perspective", *Human Relations*, vol. 44, n° 7, pp. 697-716.
- STARN, Randolph (1976), "Métamorphoses d'une notion. Les historiens et la "crise" ", *Communications*, n° 25, pp. 4-18.
- STENGERS, Isabelle (1985), "Les généalogies de l'auto-organisation", *Cahiers du CREA*, n° 8, pp. 7-104.
- (1986), "Découvrir la complexité?", *Cahiers du CREA*, n° 9, pp. 223-254.

- STENGERS, Isabelle (Dir.) (1987), *D'une science à l'autre. Des concepts nomades*, Paris, Éditions du Seuil.
- STENGERS, Isabelle y SCHLANGER, Judith (1989), *Les concepts scientifiques. Invention et pouvoir*, Paris, Éditions la Découverte.
- STOURDZE, Yves (1979), "Hypothèses sur la relation catastrophe/réseau", *Futuribles*, nº 28, pp. 126-130.
- THOM, René (1976a), "Comentarios", en C.H. Waddington y otros, *Hacia una biología teórica*, Madrid, Alianza Editorial, pp. 54-65.
- (1976b), "Una teoría dinámica de la morfogénesis", en C.H. Waddington y otros, *Hacia una biología teórica*, Madrid, Alianza Editorial, pp. 181-212.
- (1976c), "Modelos topológicos en biología", en C.H. Waddington y otros, *Hacia una biología teórica*, Madrid, Alianza Editorial, pp. 499-530.
- (1987), *Estabilidad estructural y morfogénesis. Ensayo de una teoría general de los modelos*, Barcelona, Gedisa.
- (1990a), "Halte au hasard, silence au bruit", en VV.AA., *La querelle du déterminisme*, Paris, Éditions Gallimard, pp. 62-78.
- (1990b), "En guise de conclusion", en VV.AA., *La querelle du déterminisme*, Paris, Éditions Gallimard, pp. 139-149.
- (1990c), "Postface au débat sur le déterminisme", en VV.AA., *La querelle du déterminisme*, Paris, Éditions Gallimard, pp. 266-279.
- (1993), *Parábolas y catástrofes. Entrevista sobre matemáticas, ciencia y filosofía*, Barcelona, Tusquets.
- THOMPSON, W.I. (Ed.) (1989), *Gaia. Implicaciones de la nueva biología*, Barcelona, Kairós.
- TONNELAT, Jacques (1978a), *Thermodynamique et Biologie, I, Entropie, Désordre et Complexité*, Paris, Maloine-Doin Editeurs.
- (1978b), *Thermodynamique et Biologie, II, L'Ordre Issu du Hasard*, Paris, Maloine S.A. Editeur.
- VARELA, Francisco J. (1981), "Autonomy and autopoiesis", en G. Roth y H. Schwegler (Eds.), *Self-organizing systems. An interdisciplinary*

approach, New York, Campus Verlag, pp. 14-24.

- (1984a), "Two Principles for Self-Organization", en Ulrich and Probst (Eds.), *Self-Organization and Management of Social Systems*, Berlin, Springer Verlag, pp. 25-33.

- (1984b), "Viaje al país de la autonomía", *C.E.A. (Centro de Estudios en Autonomía y Autoorganización)*, nº 1, pp. 9-17.

- (1984c), "Una descripción de la lógica de lo viviente", *C.E.A. (Centro de Estudios en Autonomía y Autoorganización)*, nº 1, pp. 48-57.

- (1986a), "Propriétés émergentes dans des réseaux neuronaux modulaires", *Cahiers S. T. S. (Science-Technologie-Société)*, nº 9-10, pp. 201-205.

- (1986b), "Steps to a cybernetics of autonomy", en Trappl (Ed.), *Power and autonomy: new approaches toward complex systems*, London/New York, Plenum Press, pp. 117-122.

- (1986c), "Experimental epistemology: Background and future", *Cahiers du CREA*, nº 9, pp. 107-121.

- (1989a), *Autonomie et connaissance. Essai sur le vivant*, Paris, Éditions du Seuil.

- (1989b), "Haciendo camino al andar", en W.I. Thompson (Ed.), *Gaia. Implicaciones de la nueva biología*, Barcelona, Kairós, pp. 47-62.

- (1990), *Conocer. Las ciencias cognitivas: tendencias y perspectivas. Cartografía de las ideas actuales*, Barcelona, Gedisa.

VARELA, Francisco J. y GOGUEN, Joseph A. (1977), "The arithmetic of closure", en R. Trappl (Ed.), *Progress in cybernetics and systems research*, New York, Wiley H., pp. 48-63.

VIRILIO, Paul (1993), *L'insécurité du territoire*, Paris, Galilée.

VULLIERME, Jean-Louis (1985), "Les hiérarchies enchevêtrées: Esquisse d'une théorie de la dictature", *Cahiers du CREA*, nº 5, pp. 201-245.

- (1987), "Cybernétique, auto-organisation, cognition. La marche des sciences de la complexité", *Revue internationale de systémique*, vol. 1, nº 1, pp. 123-127.

- (1989), *Le concept de système politique*, Paris, Presses Universitaires

de France.

VV.AA. (1985), "Interview de Von Foerster, février 85", *Cahiers du CREA*, nº 8, pp. 255-273.

-(1986), *Science et pratique de la complexité*, Paris, La Documentation Française.

- (1989), *Resistencia a la innovación de sistemas complejos*, III Foro de Issyk-Kul, Madrid, Instituto de Ciencias del Hombre.

- (1990), *La querelle du déterminisme*, Paris, Éditions Gallimard.

WADDINGTON, C.H. (1976), "Las ideas básicas de la biología", en C.H. Waddington y otros, *Hacia una biología teórica*, Madrid, Alianza Editorial, pp. 17-54.

WAGENSBERG, Jorge (1991), "Complejidad y simulación: hacia una nueva forma de hacer ciencia", *Política científica*, nº 30, pp. 58-60.

WALDROP, M. Mitchell (1990), "Spontaneous Order, Evolution, and Life", *Science*, vol. 247, pp. 1543-1545.

WALLISER, Bernard (1977), *Systèmes et modèles. Introduction critique a l'analyse de systèmes*, Paris, Éditions du Seuil.

WATTS, D.L. (1990), "Disorder and Contradiction: An Empirical Perspective on Self-Organization", *Human Systems Management*, vol. 9, nº 4, pp. 239-248.

WIENER, Norbert (1969), *Cibernética y sociedad*, Buenos Aires, Editorial Sudamericana.

- (1985), *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*, Barcelona, Tusquets.

WILDEN, Anthony (1979), *Sistema y estructura. Ensayos sobre comunicación e intercambio*, Madrid, Alianza.

WOODCOCK, Alexander y DAVIS, Monte (1986), *Teoría de las catástrofes*, Madrid, Cátedra.

ZUIJDERHOUDT, Robert W.L. (1990), "Chaos and the Dynamics of Self-Organisation", *Human Systems Management*, vol. 9, nº 4, pp. 225-238.